

DESESTABILIZAÇÃO DE EMULSÕES ¹

Elenice Maria Schons²
Jader Martins³

Resumo

Um dos grandes problemas das indústrias minero-metalúrgicas relaciona-se ao descarte de efluentes oleosos provenientes de diversas etapas dos processos industriais, gerando emulsões estáveis. Para evitar impactos ambientais, faz-se necessário tratar esses efluentes antes de serem descartados. Neste trabalho objetivou-se avaliar a eficiência de diferentes coagulantes e floculante na desestabilização das emulsões do tipo óleo em água. As emulsões foram preparadas utilizando-se ácido oleico e um detergente comercial. Para a desestabilização das emulsões, os ensaios foram realizados utilizando-se um sal inorgânico (NaCl), três coagulantes ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 e Al_2Cl_6) e um floculante (PAM). Os tempos de condicionamento das emulsões com os reagentes foram de 5 e 15 minutos, sob agitação. Após esse condicionamento, as emulsões foram deixadas em repouso e mediu-se seus valores de turbidez em determinados intervalos. Os resultados obtidos para a redução da turbidez para o sal foram elevados, porém para tempo de repouso de 48 h. Para os coagulantes utilizados obteve-se significativa redução da turbidez (> 90%) para tempo de repouso de 48 h. Contudo, os melhores resultados foram encontrados para a utilização de coagulantes e floculante associados. A redução nos valores da turbidez se deu a tempos de repouso menores (15 minutos) e em valores consideráveis. Para 48h, o grau de redução foi maior que 98% em relação à turbidez inicial das emulsões. Dessa forma, tal procedimento pode ser mais eficiente do ponto de vista industrial, reduzindo o tempo de condicionamento, repouso e recirculação de água nos processos.

Palavras-chave: Emulsões óleo-água; Tratamento de efluentes; Coagulação; Flocculação.

DESESTABILIZATION OF EMULSIONS

Abstract

One of the big problems in the mineral industry is concerned to the disposition of oil effluents, due to formation of emulsions, during the different steps of the ore processing, making the emulsions very stable. To reduce its impacts in the environment, it becomes necessary to treat these effluents before being discarded. In this work it was objectified to evaluate the efficiency of different coagulants and flocculante in the run down of emulsions, to reduce the tenor of oil in the water. The emulsions had been prepared using acid oleic and a commercial detergent. For the run down of emulsions, the assays had been carried through using an inorganic salt (NaCl), three coagulants ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 and Al_2Cl_6) and a flocculant (PAM). The times of conditioning of emulsions with the reagents had been of 5 and 15 minutes, under agitation. After this conditioning, the emulsions had been left in resting and, that been measured its values of turbidez in determined intervals. The results gotten for the reduction of the turbidez for the salt had been raised, however the time of resting to get these results was of 48h. For the used coagulants significant reduction of the turbidez was gotten (> 90%) for a time of resting of 48h. Although, the best results had been found for the use of coagulants and flocculant associates. The reduction in the values of the turbidez was given because of time of resting (15 minutes) and in considerable values. For 48h, the reduction degree was greater that 98% in relation to the initial turbidez of emulsions. This way, that procedure can be more efficient in the industrial point of view, reducing the time of conditioning, resting and recirculation of water in the processes.

Key words: Emulsions oil-water; Treatment of effluent; Coagulation; Flocculation.

¹ Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Mestre em Engenharia Mineral, professora na Universidade Presidente Antônio Carlos (UNIPAC).

³ PhD em Department Of Mining And Mineral Science, .

1 INTRODUÇÃO

Entre os principais poluentes que podem causar degradação ao meio ambiente estão o petróleo e seus derivados que, quando em contato com a água, geram as emulsões. Esses contaminantes, quando presentes na água, são de difícil remoção, mesmo em pequenas quantidades, acarretando prejuízos nos processos de respiração e fotossíntese, devido à formação de uma película insolúvel na superfície do corpo d'água, impedindo as trocas gasosas e penetração da luz, causando a morte de animais e plantas. Além disso, esses poluentes são estáveis à luz, ao calor e de difícil biodegradação. Assim sendo, é necessária a reciclagem de águas residuais, com a instalação de unidades de tratamento que reduzam a carga poluente desses efluentes, proporcionando a reutilização, não como água potável, mas em situações que promovam a redução de custos para as empresas e também a proteção ao meio ambiente.

Os separadores gravimétricos são freqüentemente utilizados para separação do óleo livre e disperso da água. Porém, à medida que o tamanho das gotas diminui, esta técnica de separação se torna ineficiente, não apresentando eficiência na separação de óleos emulsionados.

Segundo Shaw⁽¹⁾ uma emulsão é definida como uma mistura de dois líquidos imiscíveis ou parcialmente miscíveis onde uma das fases encontra-se dispersa na outra sob a forma de gotas de tamanho microscópico ou coloidal. As emulsões contendo o óleo como fase dispersa na forma de pequenas gotículas em fase aquosa são chamadas de emulsão do tipo óleo em água (O/A) enquanto que, quando o meio disperso é a água tem-se emulsões do tipo água em óleo (A/O).

A estabilidade de uma emulsão é a sua capacidade em se manter homogênea durante um determinado período de tempo. Para que se tenha uma suspensão estável, é necessário que as forças de natureza repulsiva (forças de interação eletrostática) superem as forças de natureza atrativa (forças de van der Waals).

Geralmente, para que as emulsões apresentem uma estabilidade razoável, adiciona-se ao sistema uma substância capaz de conferir estabilidade química, os surfatantes. O agente emulsionante ou surfatante, que tem como função facilitar a emulsificação e estabilizar as emulsões, possui estrutura anfipática – suas moléculas apresentam uma região apolar que apresenta repulsão pela água e atração pelo óleo, e uma parte hidrofílica, região polar que apresenta atração pela água e repulsão pelo óleo – de, unindo-as de forma estável.

Os surfatantes atuam na interface entre as fases líquidas, impedindo que ocorra a agregação, formando um filme interfacial, o que diminui a tensão interfacial, favorecendo a dispersão das gotas e estabilização da emulsão.

Em relação ao tratamento de efluentes, o estudo de mecanismos que permitam reduzir a estabilidade de sistemas dispersos é de grande importância. No caso das águas oleosas, a redução da estabilidade é fundamental para se obter a separação das duas fases líquidas.

Segundo Shaw,⁽¹⁾ o processo de desestabilização de uma emulsão pode ocorrer por quatro fenômenos diferentes: coagulação, floculação, *creaming* e coalescência.

A coagulação é o mecanismo usado para descrever a desestabilização de dispersões coloidais pela adição de íons, os quais causam a redução nas forças repulsivas, promovendo a colisão entre as espécies presentes e consequente

separação de fases. A floculação será a agregação da suspensão coloidal através da adição de polímeros orgânicos de alta massa molecular.

Segundo Di Bernardo *et al.*⁽²⁾ sais simples, como o cloreto de sódio (NaCl), são considerados eletrólitos indiferentes e não possuem características de hidrólise ou adsorção, levando a um aumento da densidade de cargas na camada difusa da dupla camada elétrica, comprimindo-a e fazendo com que ocorra a coagulação.

Os principais coagulantes inorgânicos utilizados para o tratamento de água e de efluentes são os sais de alumínio e ferro, principalmente, devido à formação de hidróxidos, que possuem ação coagulante sobre as partículas em suspensão.

Segundo Pavanelli,⁽³⁾ o hidroxocloreto de alumínio ($Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$), também conhecido como policloreto de alumínio (PAC) revela-se como um coagulante superior ao sulfato de alumínio. Para a eliminação de substâncias coloidais, sua eficácia chega a ser 1,5 a 2,5 vezes superior, em igualdade de dosagem em íons Al^{3+} , do que os outros sais de alumínio frequentemente utilizados.

O estudo desenvolvido, de caráter exploratório, teve como objetivo buscar soluções alternativas para separação do óleo emulsionado presente na água, visando investigar a eficiência de sais inorgânicos e alguns tipos de coagulantes e floculante, aplicados ao tratamento convencional de água, na desestabilização de emulsões óleo-água. Os ensaios foram realizados em escala de bancada e os coagulantes utilizados foram: sulfato de alumínio, cloreto férrico e hidroxocloreto de alumínio. O floculante utilizado foi a poliacrilamida (PAM), associada aos coagulantes. Além disso, utilizou-se o cloreto de sódio, um sal inorgânico, a fim de verificar sua eficácia na desestabilização de emulsões óleo-água.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada visou garantir a formação de emulsões estáveis durante o período de estudo desejado. No caso do presente estudo, a emulsão que interessa é do tipo óleo em água (O/A).

Inicialmente as emulsões foram preparadas utilizando-se a quantidade definida de ácido oleico (padrão comercial) em um béquer e, em seguida, adicionar a quantidade de água. Em seguida, levou-se a mistura ao agitador mecânico para homogeneização.

Foram adicionadas quantidades variadas de ácido oleico (0,2% (v/v); 0,5% (v/v) e 1% (v/v)), a fim de verificar a que apresentava melhor estabilidade e permitisse medidas de turbidez em função da faixa de leitura do equipamento. As medidas de turbidez foram utilizadas como indicativas da estabilidade das emulsões. O aparelho utilizado para realização das medidas foi o turbidímetro modelo Plus v1.25, marca Alfakit, com faixa de medição de 0 NTU a 1.000 NTU.

Como agente emulsificante utilizou-se um detergente doméstico marca Ypê, produzido por Química Amparo Ltda, cujo principal ingrediente ativo é o linear alquil benzeno sulfonato de sódio ($C_{18}H_{29}SO_3^-Na^+$).

Os procedimentos para desestabilização das emulsões basearam-se na supressão da dupla camada elétrica, pela adição de um eletrólito. Um dos eletrólitos utilizados foi o cloreto de sódio (NaCl). As dosagens de NaCl utilizadas foram de 10 g/L, 20 g/L e 40 g/L, com o intuito de verificar se uma maior concentração de eletrólito alteraria de forma significativa a estabilidade da emulsão. Os tempos de agitação utilizados foram de 5 minutos e 15 minutos.

Além do NaCl, investigou-se a influência das dosagens independentes dos seguintes coagulantes: sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico (FeCl_3), e policloreto de alumínio (Al_2Cl_6), utilizados amplamente em processos de tratamento de água.

As dosagens e tempo de agitação para os coagulantes utilizados foram:

- sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$): dosagens de 10 g/L, 20 g/L e 40 g/L, com tempos de agitação de 5 minutos e 15 minutos;
- cloreto férrico (FeCl_3): dosagens de 10 g/L, 20 g/L e 40g/L, com tempos de agitação de 5 minutos e 15 minutos; e
- policloreto de alumínio (PAC): dosagens de 1% (v/v) e 4% (v/v), com tempos de agitação de 5 minutos e 15 minutos. Utilizou-se policloreto de alumínio (Al_2Cl_6), padrão comercial, marca Hidroazul.

Após a agitação da solução (emulsão+coagulante) em agitador mecânico, mediu-se sua turbidez em tempos pré-estabelecidos, chamados de tempos de repouso.

Os ensaios de desestabilização utilizando-se floculante foram realizados adicionando-se um coagulante ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ou FeCl_3) a uma dosagem de 40,0 g/L e o floculante às emulsões. O floculante utilizado foi a poliacrilamida aniônica (PAM), marca Superfloc A-100 PWG. A dosagem de floculante adicionada foi de 2% (v/v), agitando-se por 5 minutos com alta velocidade e mais 2 minutos, em velocidade lenta, permitindo a formação dos flocos.

3 RESULTADOS

Para as diferentes dosagens de ácido oleico e detergente utilizadas, as que apresentaram emulsões mais estáveis do ponto de vista da turbidez foram: 0,5% de ácido oleico e 2,5% de detergente, conforme Tabela 1. Foram realizados três ensaios, mantendo-se as mesmas condições de análise.

Tabela 1. Turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para dosagem de detergente igual a 5%, mantendo-se constante a dosagem de ácido oleico (0,5%) e tempo de agitação de 5 min

Tempo de repouso (min)	Turbidez (NTU)			Turbidez média (NTU)	Desvio padrão (NTU)
15	354,49	350,54	349,68	351,57	2,57
	187,48	189,20	189,54	188,74	1,10
	374,27	403,34	401,62	393,08	16,31
30	252,15	253,53	247,34	251,01	3,25
	121,95	127,80	139,66	129,80	9,02
	254,39	242,52	310,63	269,18	36,38
60	336,95	333,16	329,72	333,28	3,62
	145,17	148,09	153,42	148,89	4,18
	192,30	211,04	240,80	214,71	24,46
120	157,72	173,20	180,94	170,62	11,82
	105,09	105,95	108,70	106,58	1,89
	171,14	195,39	210,87	192,47	20,03
5760 (4 dias)	157,90	161,68	163,57	161,05	2,89
	123,32	131,06	133,64	129,34	5,37
	165,07	165,24	164,90	165,07	0,17

A Figura 1 apresenta o gráfico da variação da turbidez em função dos tempos de repouso para uma dosagem de 0,5% de ácido oleico, 5% de detergente e 5 minutos de agitação (dados da Tabela 1). Nota-se que ocorre um decréscimo da

turbidez nos primeiros minutos de repouso e uma estabilização da turbidez em valores próximos a 140 NTU com 4 dias de repouso.

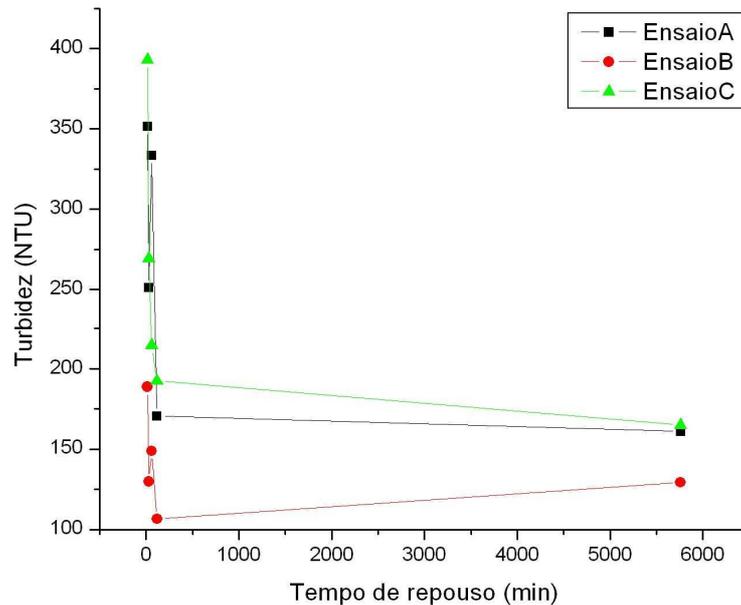


Figura 1. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso para dosagem de detergente igual a 5% mantendo-se constante a dosagem de ácido oleico (0,5%) e tempo de agitação de 5 min.

Emulsões preparadas utilizando-se dosagens de detergente de 10% e 20%, em ensaios preliminares, ultrapassaram a faixa de leitura máxima do turbidímetro (1.000 NTU), em todas as dosagens de ácido oleico utilizadas (0,2%; 0,5% e 1%). Por isso, tais dosagens não foram utilizadas no preparo de emulsões a serem desestabilizadas.

Para os ensaios de desestabilização das emulsões utilizando-se o cloreto de sódio (NaCl), variou-se as quantidades de sal adicionadas às emulsões (10,0 g/L; 20,0 g/L e 40,0 g/L). A concentração de ácido oleico utilizada foi mantida em 0,5%, dosagem de detergente 5% e tempos de agitação iguais a 5 minutos e 15 minutos. Para as dosagens de 10,0 g/L e 20,0 g/L, os valores iniciais de turbidez foram superiores à 1.000 NTU. Assim, a dosagem que apresentou melhores resultados foi a de 40,0 g/L, conforme Tabela 2. O valor apresentado como “0 minuto” corresponde às medidas de turbidez da emulsão sem a adição do sal. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Tabela 2. Turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para dosagem de NaCl de 40,0g/L, mantendo-se constante a dosagem de ácido oleico (0,5%) e o tempo de agitação (5 min)

Tempo de repouso (min)	Turbidez (NTU)			Turbidez média (NTU)	Desvio padrão (NTU)	Dosagem de NaCl (g/L)
0	152,91	151,19	153,77	152,62	1,31	40,0
	125,22	126,25	130,20	127,22	2,63	
	169,94	193,33	210,87	191,38	20,53	
15	238,05	247,51	263,68	249,75	12,96	
	281,22	313,21	330,07	308,17	24,81	
	264,54	277,78	284,14	275,49	10,00	
30	187,82	192,81	192,12	190,92	2,70	
	241,66	272,28	272,62	262,19	17,78	
	212,76	221,71	232,20	222,22	9,73	
60	153,94	153,94	171,83	159,90	10,33	
	185,42	196,25	201,41	194,36	8,16	
	163,03	164,43	169,42	165,63	3,36	
120	117,48	121,78	124,36	121,21	3,48	
	135,71	147,40	149,98	144,36	7,60	
	146,89	145,51	146,72	146,37	0,75	
2880 (2 dias)	1,38	1,38	2,24	1,67	0,50	
	3,96	3,96	4,13	4,02	0,10	
	0,69	0,86	1,20	0,92	0,26	

A Figura 2 apresenta um gráfico da variação da turbidez em função dos tempos de repouso para a dosagem de NaCl de 40,0 g/L, mantendo-se constante a dosagem de ácido oleico (0,5%) e o tempo de agitação de 5 min. Observa-se que ocorre uma redução acentuada nos valores de turbidez. No entanto, o tempo gasto que se tenha valores mais baixos de turbidez é de dois dias.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para a dosagem de 40,0g/L de NaCl, variando-se o tempo de agitação (de 5 min para 15 min). O valor apresentado como “0 minuto” corresponde às medidas de turbidez da emulsão sem a adição do sal. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

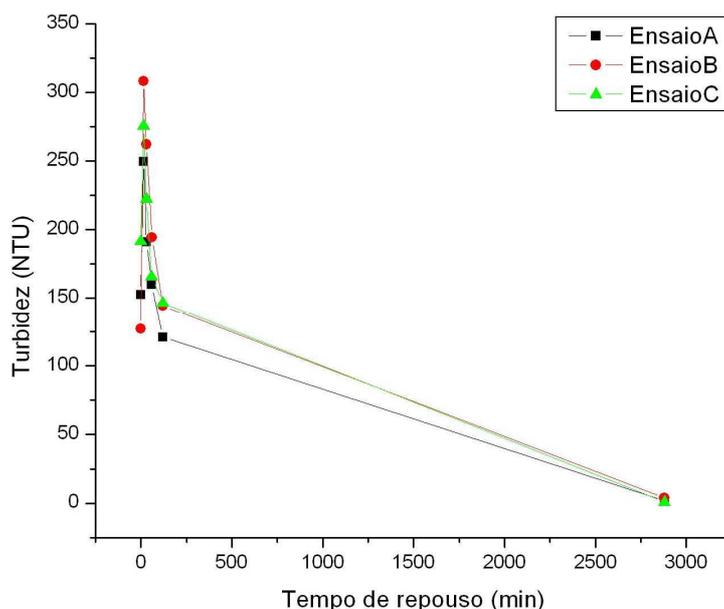


Figura 2. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para dosagem de NaCl igual a 40,0 g/L, ácido oleico 0,5% e tempo de agitação de 5 min.

Tabela 3. Turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para dosagem de NaCl de 40,0g/L, mantendo-se constante a dosagem de ácido oleico (0,5%) e o tempo de agitação (15 min)

Tempo de repouso (min)	Turbidez (NTU)			Turbidez média (NTU)	Desvio padrão (NTU)	Dosagem de NaCl (g/L)
0	186,96	188,51	186,45	187,31	1,07	40,0
	163,23	164,60	163,57	163,80	0,71	
	234,44	237,02	235,98	235,81	1,30	
15	344,00	361,72	361,72	355,81	10,23	
	339,36	353,29	372,72	355,12	16,76	
	196,94	205,02	223,08	208,35	13,38	
30	258,52	268,66	280,70	269,29	11,10	
	245,10	283,63	295,84	274,86	26,48	
	158,24	189,72	189,03	179,00	17,98	
60	190,23	191,95	197,46	193,21	3,78	
	176,82	176,99	198,14	183,98	12,26	
	122,98	125,90	135,54	128,14	6,57	
120	135,19	146,37	159,44	147,00	12,14	
	113,86	128,31	137,60	126,59	11,96	
	116,79	116,44	115,93	116,39	0,43	
2880 (2 dias)	0,00	0,34	0,86	0,40	0,43	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	2,41	2,24	1,72	2,12	0,36	

A Figura 3 apresenta o gráfico da variação da turbidez em função dos tempos de repouso para a dosagem de NaCl de 40,0 g/L, mantendo-se constante a dosagem de ácido oleico (0,5%) e o tempo de agitação de 15 min.

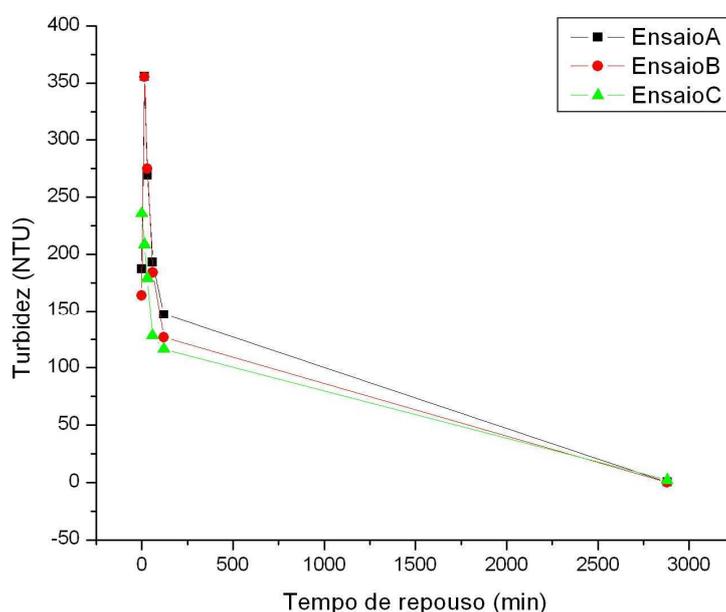


Figura 3. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso para dosagem de NaCl igual a 40,0g/L, ácido oleico 0,5% e tempo de agitação de 15 min

Para o coagulante $Al_2(SO_4)_3$ procedeu-se o preparo das emulsões, mantendo-se constantes as dosagens de ácido oleico (0,5%) e detergente (5%). A Figura 4 apresenta a média da variação considerando as três dosagens de $Al_2(SO_4)_3$ adicionadas (10,0 g/L; 20,0 g/L e 40,0g/L) e tempo de agitação de 5 minutos.

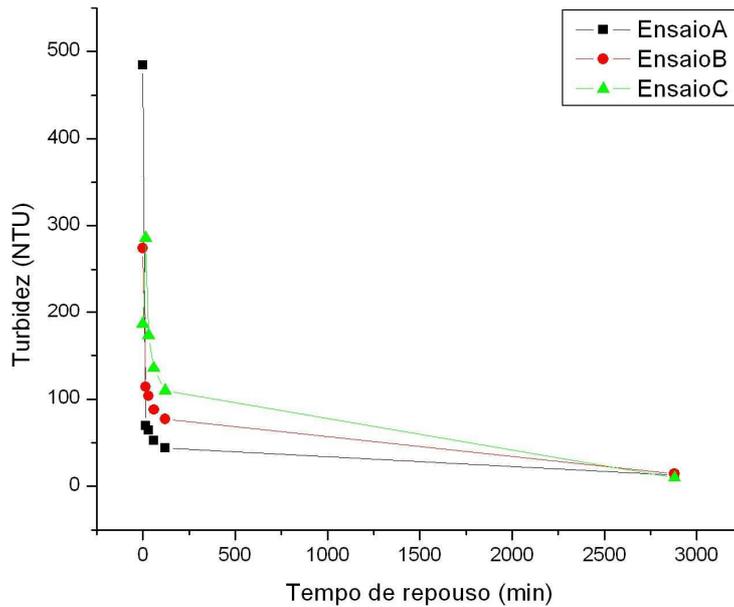


Figura 4. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para as três dosagens de $Al_2(SO_4)_3$: ensaio A (10,0 g/L), ensaio B (20,0 g/L) e ensaio C (40,0 g/L) e tempo de agitação de 5 min.

A Figura 5 apresenta a média da variação considerando as três dosagens de $Al_2(SO_4)_3$ adicionadas e tempo de agitação de 15 minutos, mantendo-se as mesmas condições experimentais utilizadas para 5 minutos de agitação.

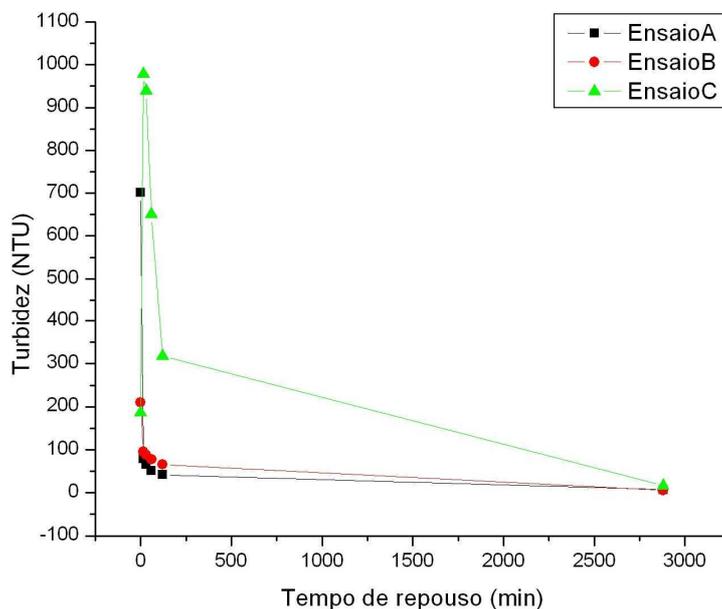


Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para as três dosagens de $Al_2(SO_4)_3$: ensaio A (10,0 g/L), ensaio B (20,0 g/L) e ensaio C (40,0 g/L) e tempo de agitação de 15 min.

Para o coagulante $FeCl_3$, procedeu-se o preparo das emulsões, mantendo-se estáveis as dosagens de ácido oleico (0,5%) e detergente (5%). As dosagens de coagulante utilizadas foram de 10,0 g/L; 20,0 g/L e 40,0 g/L, variando-se os tempos de agitação (5 minutos e 15 minutos). A Figura 6 apresenta a média da variação considerando as três dosagens de $FeCl_3$ e tempo de agitação de 5 minutos.

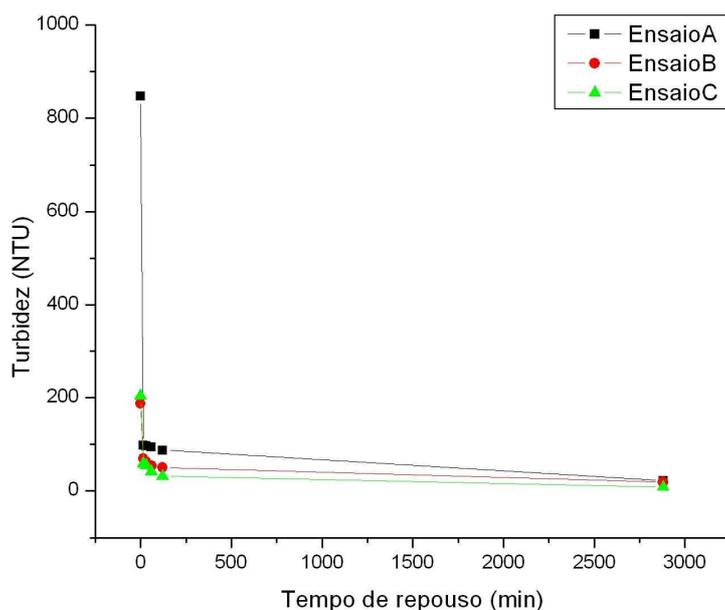


Figura 6. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para as três dosagens de FeCl_3 : ensaio A (10,0 g/L), ensaio B (20,0 g/L) e ensaio C (40,0 g/L) e tempo de agitação de 5 min.

A Figura 7 apresenta a média da variação considerando as três dosagens de FeCl_3 adicionadas e tempo de agitação de 15 minutos.

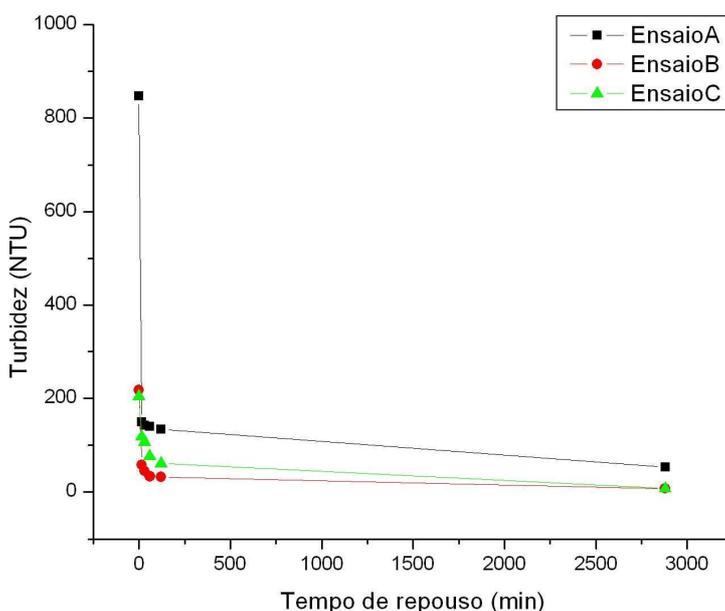


Figura 7. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para as três dosagens de FeCl_3 : ensaio A (10,0 g/L), ensaio B (20,0 g/L) e ensaio C (40,0 g/L) e tempo de agitação de 15 min.

Para o coagulante policloreto de alumínio (Al_2Cl_6), procedeu-se o preparo das emulsões, mantendo-se estáveis as dosagens de ácido oleico (0,5%) e detergente (5%). As dosagens de coagulante utilizadas foram de 20,0% e 40,0%, variando-se os tempos de agitação (5 minutos e 15 minutos).

Na Figura 8 observa-se a variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para as duas dosagens de Al_2Cl_6 utilizadas e tempo de agitação de 5 min.

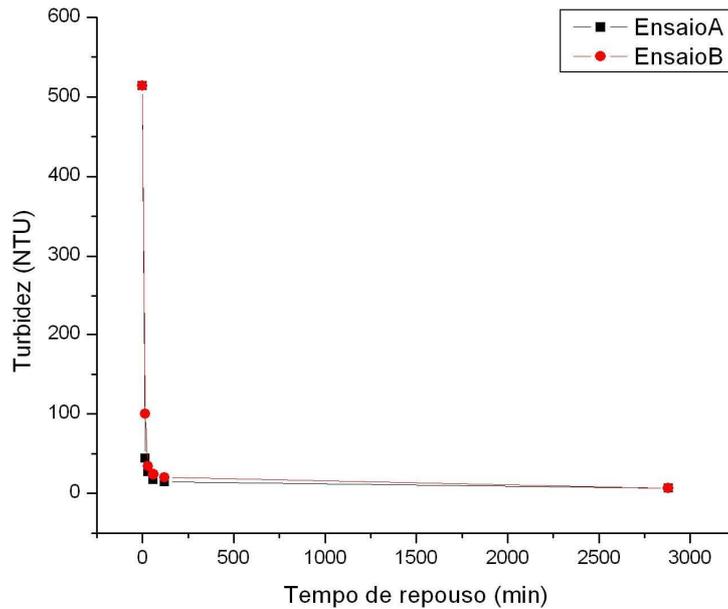


Figura 8. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para as dosagens de Al_2Cl_6 : ensaio A (20,0%) e ensaio B (40,0%); tempo de agitação de 5 min.

A Figura 9 apresenta o gráfico da média da variação considerando as duas dosagens de Al_2Cl_6 adicionadas (20,0% e 40,0%) e tempo de agitação de 15 minutos.

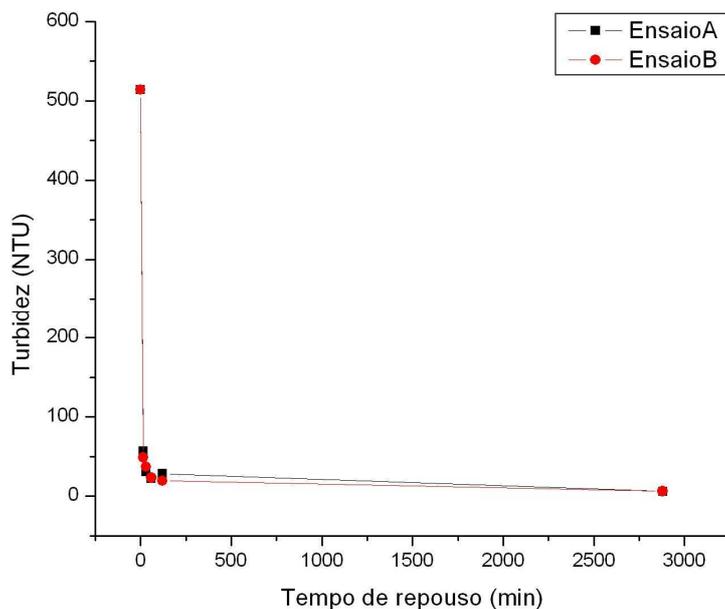


Figura 9. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para as dosagens de Al_2Cl_6 : ensaio A (20,0%) e ensaio B (40,0%); tempo de agitação de 15 min

Para os ensaios de desestabilização utilizando-se flocculante, foram utilizados dois coagulantes: o $Al_2(SO_4)_3$ e o $FeCl_3$, cujas dosagens adicionadas foram de 40,0g/L. Procedeu-se o preparo das emulsões, mantendo-se estáveis as dosagens de ácido oleico (0,5%) e detergente (5%), utilizou-se a PAM como flocculante, cuja dosagem adicionada foi de 0,2%. O tempo de agitação utilizado foi de 5 minutos.

A Figura 10 apresenta o gráfico da variação da turbidez em função dos tempos de repouso utilizando-se o coagulante $Al_2(SO_4)_3$ e o flocculante PAM.

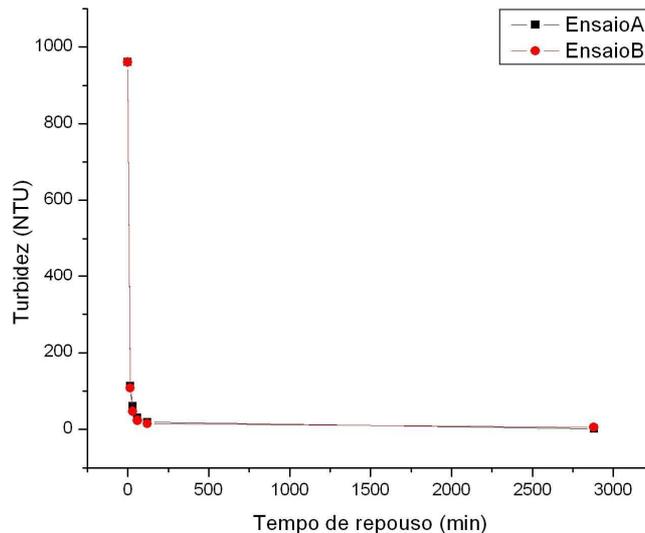


Figura 10. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 40,0 g/L e de PAM de 2% e tempo de agitação de 5 min.

A Figura 11 apresenta o gráfico da variação da turbidez em função dos tempos de repouso utilizando-se o coagulante FeCl_3 e o floculante PAM.

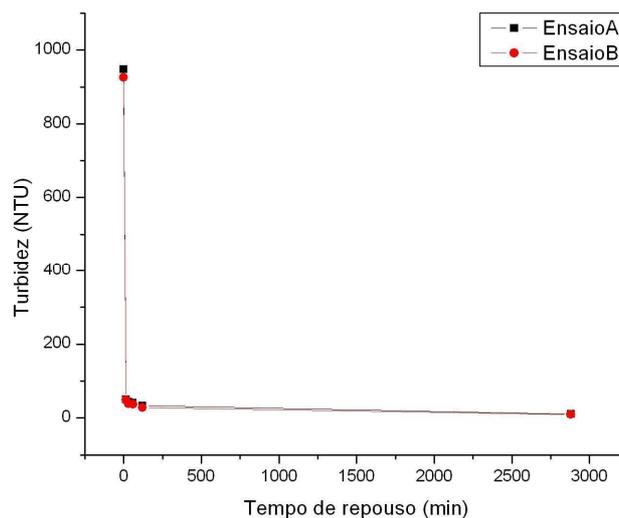


Figura 11. Variação da turbidez das emulsões em função dos tempos de repouso, para dosagem de FeCl_3 de 40,0 g/L e de PAM de 2% e tempo de agitação de 5 min.

4 DISCUSSÃO

Utilizando-se o NaCl como agente desestabilizante, observa-se uma significativa redução nos valores de turbidez. No entanto, essa redução se torna mais eficiente após 48h de tempo de repouso das emulsões. Além disso, o tempo de agitação das emulsões com o sal (5 minutos e 15 minutos) não alterou de forma significativa os valores finais de turbidez.

Para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ os resultados obtidos para o tempo de agitação de 15 minutos foram semelhantes aos obtidos para 5 minutos de agitação. Obteve-se resultados significativos na diminuição da turbidez das emulsões. A única anomalia encontrada foi o ensaio com concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 40,0 g/L. Neste ensaio houve um aumento da turbidez nos primeiros minutos de repouso e, posteriormente a sua redução. Este comportamento não foi encontrado em nenhum outro ensaio anterior. Acredita-se que o alto tempo de agitação aliado a alta dosagem do

coagulante possa ter levado a um aumento momentâneo na estabilidade da emulsão.

Analisando os resultados encontrados utilizando-se o FeCl_3 nota-se que a variação na dosagem do coagulante teve pouca interferência na redução da turbidez da emulsão, bem como o tempo de agitação. Contudo, a adição do coagulante se mostrou eficaz na redução da turbidez.

Para o Al_2Cl_6 , o aumento na dosagem de sal adicionada ou no tempo de agitação não promoveu significativas mudanças, No entanto, gerou uma redução elevada na turbidez inicial da emulsão em poucos minutos de repouso.

A utilização do coagulante associado ao floculante resultou na redução mais abrupta da turbidez (aproximadamente 98%), reduzindo o tempo necessário para tais valores de turbidez. Ambos coagulantes utilizados demonstraram resultados semelhantes.

5 CONCLUSÃO

Os coagulantes empregados ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; FeCl_3 e Al_2Cl_6) mostraram-se eficientes na desestabilização das emulsões e conseqüente redução da turbidez.

A variação no tempo de agitação das emulsões (5 e 15 minutos) não alterou de forma significativa os resultados obtidos, donde se conclui que ou o tempo de agitação de cinco minutos é suficiente para o condicionamento da emulsão ou que o tempo de agitação tem pouca (ou mesmo nenhuma) influência na ação do coagulante na desestabilização da emulsão.

Os resultados encontrados nos valores de turbidez dos ensaios realizados utilizando-se coagulantes e floculante associados mostraram grande eficiência na diminuição da turbidez, principalmente em relação ao tempo reduzido necessário para em que ocorra tal redução.

Dessa forma, conclui-se que a associação de reagentes significará maior eficiência industrial, diminuindo o tempo de condicionamento do reagente com os efluentes e maior rapidez na recirculação da água nos processos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, à Universidade Federal de Ouro preto (UFOP) e ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral (PPGEM) pela estrutura oferecida para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 SHAW, D. J. *Introdução à química dos colóides e de superfícies*. São Paulo: Edgard Blücher, 1975.
- 2 DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. *Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos: RiMa, 2002.
- 3 PAVANELLI, G. *Eficiência dos diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada*. 2001. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.