



REMOÇÃO DE COR DOS CORANTES RR2 E CONGO RED POR CONSÓRCIOS ANAERÓBIOS: EFEITO DO MEDIADOR REDOX AQDS NA PRESENÇA DE DIFERENTES DOADORES DE ELÉTRONS.

**Gabriela de A. MONTEIRO (1); Mayara C. COSTA (2); Glaydson L.F. MENDONÇA (3);
André B. DOS SANTOS (4).**

(1) Universidade Federal do Ceará. E-mail: gabiamento@gmail.com (2) Universidade Federal do Ceará, e-mail: mcarantino@hotmail.com (3) Universidade Federal do Ceará, e-mail: zleon9@yahoo.com.br
(4) Universidade Federal do Ceará, e-mail: andre23@ufc.br

RESUMO

A remoção de cor de efluentes industriais pode ser alcançada por processos biológicos. O presente trabalho objetivou avaliar o potencial catalítico do mediador redox AQDS nas taxas de remoção de cor para diferentes doadores de elétrons. Nos experimentos em batelada, foram inoculados dois consórcios anaeróbios: 1 - coletado em uma cervejaria e 2 - coletado em uma indústria de papel. Os doadores de elétrons testados foram: acetato, glicose, etanol e formiato. Nos experimentos em fluxo contínuo, o consórcio 1 era inoculado em dois reatores UASB (TDH = 8h), sendo o reator R2 suplementado com AQDS. Selecionou-se o etanol como doador de elétrons e o corante *Congo Red* (1,2mM). Nos experimentos em batelada, o doador de elétrons que apresentou maiores taxas de descoloração do RR2 foi o formiato ($k_1 = 1,5 \text{ dia}^{-1}$) e para o *Congo Red* foi o etanol ($k_1 = 3,8 \text{ dia}^{-1}$). Após adição de AQDS (50 μM), as constantes cinéticas do etanol e formiato aumentaram em 1,4 e 3,2 vezes, respectivamente. Nos experimentos de fluxo contínuo, os reatores R1 e R2 alcançaram eficiências de remoção de cor da ordem de 95,2% e 98,6%, respectivamente. Concluiu-se que o AQDS acelerou a cinética de redução dos corantes e as taxas de remoção de cor foram influenciadas pelo tipo de doador de elétrons. Adicionalmente, verificou-se uma elevada eficiência de descoloração do *Congo Red* nos reatores anaeróbios mesofílicos.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia, *Reactive Red 2*, *Congo Red* e AQDS.

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil representa um importante setor da economia brasileira e mundial, gerando elevados volumes de efluentes com elevado potencial poluidor. Nestes estão presentes corantes e pigmentos utilizados nos processos de acabamento, surfactantes, metais pesados, compostos orgânicos, dentre outros. No que se concerne aos corantes, o lançamento excessivo desses em corpos d'água pode causar distúrbios ao meio ambiente, pois afetam a fotossíntese das algas, além de muitos corantes e seus produtos de degradação serem carcinogênicos (Weisburger, 2002). Dos corantes utilizados na indústria têxtil, cerca de 70% pertencem à classe dos corantes azo, os quais são bastante utilizados em fibras de algodão (Dos Santos *et al.*, 2006).

A área da biotecnologia ambiental tem obtido muitos progressos com a utilização de bactérias aeróbias e anaeróbias, fungos e actinomicetos, em reatores biológicos capazes de remover a cor de efluentes (Dos Santos, 2005). Tais pesquisas são extremamente importantes devido ao fato de os processos biológicos serem mais econômicos quando comparados aos processos físico-químicos, além da menor geração de lodo.

A remoção de cor por bactérias aeróbias é normalmente baixa (10-30%) e ocorre devido ao fato de o oxigênio, por ter um potencial padrão de redução maior do que o corante, capturar os elétrons gerados nos processos oxidativos. Alguns fungos sob condições aeróbias removem a cor de efluentes pela propriedade de produzirem peroxidases, as quais oxidam o corante.

A remoção de cor em condições anaeróbias, conhecida como descoloração redutiva, é normalmente maior do que eficiência alcançada nos processos aeróbios (60-80%), pois tais corantes são usualmente os únicos aceptores finais de elétrons. Durante o processo de redução de corantes azo, há a formação de aminas aromáticas, as quais são tidas como recalcitrantes sob condições anaeróbias. Como as mesmas são carcinogênicas, necessita-se de um pós-tratamento antes do descarte desses efluentes descoloridos em corpos d'água (Dos Santos, 2005).

Recentes pesquisas apontam o aumento da cinética de remoção anaeróbia de corantes azo e outros contaminantes pelo uso de catalisadores de reações bioquímicas, os quais são conhecidos como mediadores redox. Vitaminas como riboflavina (vitamina B12) e outras substâncias à base de quinonas (presentes em húmus e carvão ativado, por exemplo), podem funcionar como mediadores redox, os quais fazem acelerar a transferência de elétrons do doador primário ou substrato ao aceptor final de elétrons, que é usualmente o limitante do processo de redução do corante (Lovley *et al.*, 1996; Rau *et al.*, 2002; Dos Santos *et al.*, 2004; Dos Santos *et al.*, 2005).

O presente trabalho investigou a remoção de cor de dois importantes corantes azo, *RR2* e *Congo Red*, por dois consórcios anaeróbios distintos e também avaliou o potencial catalítico do mediador redox AQDS para diferentes doadores de elétrons.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Compostos Químicos

Selecionaram-se os corantes azo *RR2* (*Reactive Red 2*) e *Congo Red* como compostos modelos. Ambos foram utilizados em sua forma analítica, sem adicional purificação. O mediador redox escolhido foi o AQDS (Antraquinona-2,6-disulfonado), testado em sua forma analítica.

Inóculo e Meio Basal

Coletou-se o consórcio anaeróbio 1 em um reator mesofílico do tipo UASB (upflow anaerobic sludge blanket), o qual tratava águas residuárias de uma indústria de papel (Eerbeek, Países Baixos) e o consórcio anaeróbio 2 em um reator mesofílico UASB que tratava efluente de uma indústria de cerveja (Fortaleza, Brasil). O meio basal consistia de (mg/L): NH_4Cl (280), K_2HPO_4 (250), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (100), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (10) e 1 mL/L de elementos traços, o qual continha (mg/L): H_3BO_3 (50), $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (2000), ZnCl_2 (50), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (500), $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (38), $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (50), $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (90), $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (2000), $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (92), $\text{NaSeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (162), EDTA (1000) e HCl 36% (1). O meio foi tamponado com 2,5 g/L de bicarbonato de sódio, de forma a manter o pH próximo a 7,0. Os experimentos foram conduzidos em temperatura ambiente.

Testes de atividade ou em batelada

Para os testes de atividade, 1,5 gSSV/L do lodo (consórcio 1 ou 2) era adicionado em garrafas em série com volume total de 117 mL, sendo 50 mL ocupados pela fração líquida com meio basal. As garrafas eram seladas com tampa em borracha do tipo butil, juntamente com prendedores de alumínio. Condições anaeróbias eram obtidas através da exaustiva troca do meio gasoso por N₂/CO₂ (70:30%), durante 1 minuto. Em seguida, adicionou-se 1,5 g DQO/L do doador de elétrons (variável), corante 0,3 mM (RR2 ou Congo Red) e mediador redox AQDS, quando testado. Foram feitos controles químicos e controles endógenos, para se avaliar o efeito do inóculo e estabilidade química do corante, e o efeito do doador de elétrons, respectivamente. Ao final de cada experimento determinava-se o pH das garrafas.

Efeito do mediador redox AQDS e diferentes doadores de elétrons na remoção de cor dos corantes RR2 e Congo Red por lodos mesofílicos

Estudou-se em condições mesofílicas com os dois consórcios microbianos, o efeito do mediador redox AQDS testado na concentração de 0,050 mM na descoloração reductiva dos corantes RR2 e Congo Red, para uma concentração de 0,3 mM. Os doadores de elétrons acetato, glicose, etanol e formiato eram usados na concentração de 1,5 g DQO/L. Controles sem a presença de AQDS avaliavam o efeito catalítico desse composto nas taxas de descoloração. Garrafas sem adição de lodo controlavam a estabilidade química do corante.

Experimento de fluxo contínuo para comprovar o aumento de eficiência de remoção de cor devido ao emprego do mediador redox AQDS

Utilizaram-se dois reatores anaeróbios mesofílicos do tipo UASB, com volume útil de 0,53 L, operados sob um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 h e taxa de carga orgânica volumétrica (COV) de 2,5 Kg DQOm⁻³d⁻¹, em que o substrato era o etanol. Inoculou-se o consórcio anaeróbio 1 em ambos os reatores, sendo este aclimatado por aproximadamente 19 dias. Após condições estáveis de operação, os reatores receberam uma concentração de 0,3 mM do corante Congo Red, sendo aumentadas posteriormente para 0,6 e 1,2 mM. Avaliou-se o efeito catalítico do mediador redox AQDS, através de sua dosagem contínua (0,050 mM) no reator 2. O experimento em fluxo contínuo foi realizado em três fases. Na primeira fase a concentração do corante foi 0,6 mM e a COV foi de 2,5 Kg DQO m⁻³ d⁻¹. Na segunda, a concentração de Congo Red foi aumentada para 1,2 mM e a COV foi mantida, sendo que na terceira fase, a concentração do corante foi mantida e COV diminuída para 1,0 Kg DQO m⁻³ d⁻¹.

Análises

Realizaram-se análises periódicas de cor, pH, alcalinidade, ácidos graxos voláteis (AGV) e demanda química de oxigênio (DQO) do afluente e efluente dos reatores 1 e 2. A remoção de cor dos compostos modelos RR2 e Congo Red foi determinada em espectrofotômetro (Thermo- Nicolet Evolution 100) e as absorbâncias eram lidas a 539 nm e 486 nm, respectivamente. Antes das leituras, as amostras eram diluídas em uma solução tampão de fosfato de sódio e centrifugadas a 13.000 RPM por 2 minutos. As análises dos outros parâmetros foram realizadas de acordo com o *Standard Methods* (APHA, 2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito de diferentes doadores de elétrons na remoção de cor dos corantes RR2 e Congo Red.

Uma cinética de primeira ordem com relação às concentrações de RR2 e Congo Red foi utilizada para calcular os valores da constante de primeira ordem k, seguindo a equação mostrada abaixo:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-kt}$$

A_t é a absorbância no tempo “t”, A_0 é a absorbância no tempo $t = 0$, “k” é a constante de primeira ordem (dia^{-1}) e “t” é o tempo acumulado do experimento (dias). O tempo era plotado contra $\ln (A_t / A_0)$ e o valor de k era estimado pelo coeficiente angular da regressão linear.

A cinética de remoção de cor pode ser consideravelmente acelerada através do uso de diferentes doadores de elétrons, conforme mostrado nas Tabelas 1 e 2. Constatou-se que o formiato era um excelente doador de elétrons, aumentando as taxas de redução de RR2 em até 10,9 e 2,6 vezes, comparados com garrafas contendo acetato e glicose, respectivamente. O acetato se mostrou um pobre doador de elétrons para a redução do corante RR2, como Dos Santos (2005) já havia observado. A razão bioquímica para a baixa cinética de remoção de cor das arqueas metanogênicas na presença de acetato ainda é desconhecida, mas muito provavelmente se dá pela formação de metano pela rota da metanogênese acetoclástica, não restando elétrons para a redução do corante.

Ao se analisar a redução do corante *Congo Red*, observou-se que as constantes de primeira ordem para o etanol e formiato são $3,8 \text{ dia}^{-1}$ e $0,8 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente, e as respectivas eficiências são 97,5% e 57,2%. Com estes dados, pode-se constatar que o etanol é melhor doador de elétrons, visto que o valor de k_1 é cerca de 4,8 vezes maior do que o valor obtido com o formiato. A tabela 2 mostra que, ao compararmos a remoção de cor do RR2 e *Congo Red*, o doador de elétrons etanol mostrou-se mais eficiente para a redução do RR2, já o formiato foi mais eficiente na redução do *Congo Red*.

Tabela 1 - Remoção de cor do corante RR2 na presença dos doadores de elétrons acetato, glicose, etanol e formiato, e o efeito do mediador redox AQDS nas taxas de remoção de cor.

Lodo	Corante 0,3 mM	AQDS μM	Doador de electrons	Eficiência da remoção de cor (%)	$K.d^{-1}$	Desvio Padrão
1	RR2	0	Acetato	87,55	0,310	0,02
1	RR2	50	Acetato	88,58	0,696	0,03
1	RR2	0	Glicose	97,75	1,301	0,06
1	RR2	50	Glicose	96,28	2,956	0,10
1	RR2	0	Etanol	87,90	0,537	0,07
1	RR2	50	Etanol	96,44	1,882	0,06
1	RR2	0	Formiato	75,60	1,481	0,01
1	RR2	50	Formiato	92,70	4,683	0,42

Tabela 2 - Remoção de cor dos corantes RR2 e Congo Red na presença de diferentes doadores de elétrons e o efeito do mediador redox AQDS nas taxas de remoção de cor.

Lodo	Corante 0,3 mM	AQDS μM	Doador de elétrons	Eficiência da remoção de cor (%)	$K.d^{-1}$	Desvio Padrão
1	RR2	0	Etanol	87,90	0,537	0,07
1	RR2	50	Etanol	96,44	1,882	0,06
1	Congo Red	0	Etanol	97,54	3,796	0,05
1	Congo Red	50	Etanol	99,27	5,118	0,07
1	RR2	0	Formiato	75,60	1,481	0,01
1	RR2	50	Formiato	92,70	4,683	0,42
1	Congo Red	0	Formiato	57,24	0,845	0,06
1	Congo Red	50	Formiato	74,96	3,553	0,08

A tabela 3 mostra que ao serem utilizados dois consórcios anaeróbios diferentes, o consórcio 2 (oriundo de uma indústria de papel) apresentou maiores valores para a constante de primeira ordem tanto para o RR2 quanto para o *Congo Red*, tanto na presença quanto na ausência do AQDS. Os valores de k_1 eram aumentados em até 3 vezes quando o consórcio 2 foi utilizado. Tal comportamento provavelmente se deu pelas maiores taxas de remoção do doador de elétrons formiato, gerando subsequentemente mais equivalentes reduzidos, que são envolvidos no processo de redução do corante.

Tabela 3 - Remoção de cor dos corantes RR2 e Congo Red na presença de consórcios anaeróbios diferentes e o efeito do mediador redox AQDS nas taxas de remoção de cor.

<i>Lodo</i>	<i>Corante 0,3 mM</i>	<i>AQDS μM</i>	<i>Doador de elétrons</i>	<i>Eficiência da remoção de cor (%)</i>	<i>K.d¹</i>	<i>Desvio Padrão</i>
1	RR2	0	Formiato	75,60	1,481	0,01
1	RR2	50	Formiato	92,70	4,683	0,42
2	RR2	0	Formiato	91,94	2,740	0,05
2	RR2	50	Formiato	93,27	7,590	0,23
1	Congo Red	0	Formiato	57,24	0,845	0,06
1	Congo Red	50	Formiato	74,96	3,553	0,08
2	Congo Red	0	Formiato	69,15	3,662	1,00
2	Congo Red	50	Formiato	72,15	6,336	0,09

Efeito do mediador redox AQDS na remoção de cor dos corantes RR2 e Congo Red na presença de diferentes doadores de elétrons.

Quando concentrações catalíticas de AQDS foram adicionadas ao sistema, houve um aumento na velocidade de descoloração do RR2 e Congo Red, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2. Constatou-se que o maior aumento na cinética da reação de redução do RR2 ocorreu quando AQDS foi usado juntamente com o etanol, sendo este aumento de 3,5 vezes (Figura 1). A glicose foi o doador de elétrons que sofreu menos interferência quando AQDS foi adicionado, tendo sua constante aumentado em apenas 2,3 vezes (Figura 1). Para a cinética de redução do corante Congo Red, verificou-se um grande poder catalítico do AQDS em associação com o doador de elétrons formiato, fazendo aumentar a constante de primeira ordem, k_1 , em cerca de 4,2 vezes (Figura 2). O valor de k_1 dos experimentos com etanol sofreu um aumento de 1,7 vezes, mostrando que o AQDS é mais eficiente na presença do formiato.

Constatou-se que o mediador redox atingiu maiores aumentos na cinética de redução do Congo Red do que na cinética do RR2, podendo esta diferença ter sido resultado da interação eletroquímica entre o mediador redox e os corantes (Figuras 1 e 2). Cervantes *et al.* (2004) observou que 0,020 mM do mediador redox AQDS aumentou de forma marcante as taxas de redução de tetracloreto de carbono, o qual possui um mecanismo de redução semelhante ao do corante azo, fazendo com que mesmo os pobres doadores de elétrons fossem efetivos na descolorinação. O mediador redox AQDS foi capaz de aumentar a cinética da reação tanto para o corante RR2 quanto para o Congo Red, para todos os doadores de elétrons testados.

Relacionado ao efeito do tipo de inóculo nas taxas de remoção de cor, observou-se que os maiores valores de k_1 ocorreram com o consórcio 2 na presença de AQDS, evidenciando a boa capacidade microbiana de transferir os equivalentes reduzidos para o corante via a redução do AQDS (Figura 3). Como abordado, o mediador redox quando é reduzido é convertido na forma de AH₂QDS, voltando para a forma AQDS quando os elétrons são transferidos para o corante.

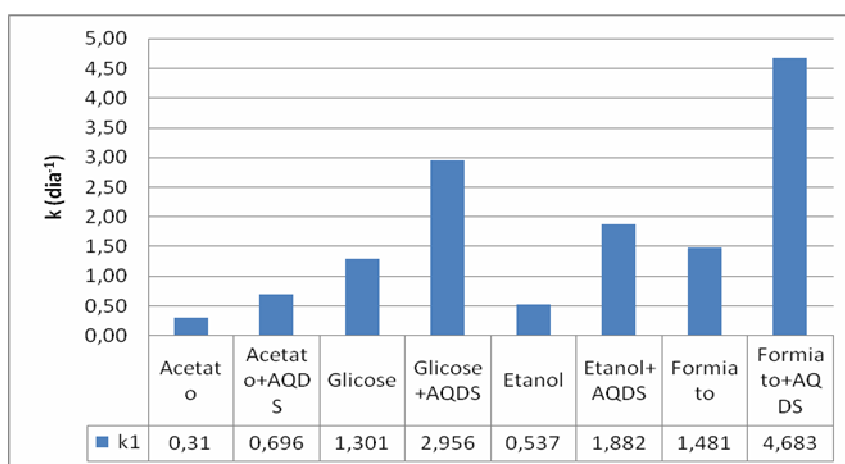


Figura 1 - Efeito do mediador redox AQDS na redução do corante RR2 na presença de diferentes doadores de elétrons.

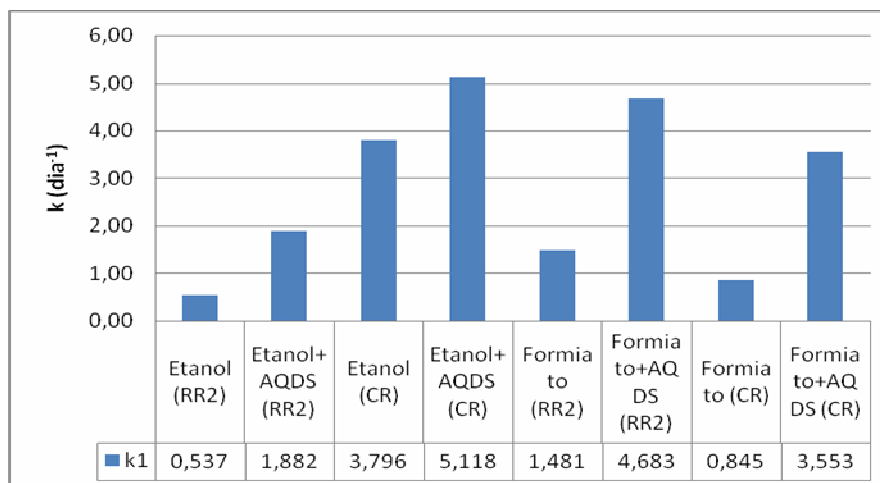


Figura 2 - Efeito do mediador redox AQDS na redução dos corantes RR2 e Congo Red (CR) na presença do etanol e formiato como doadores de elétrons.

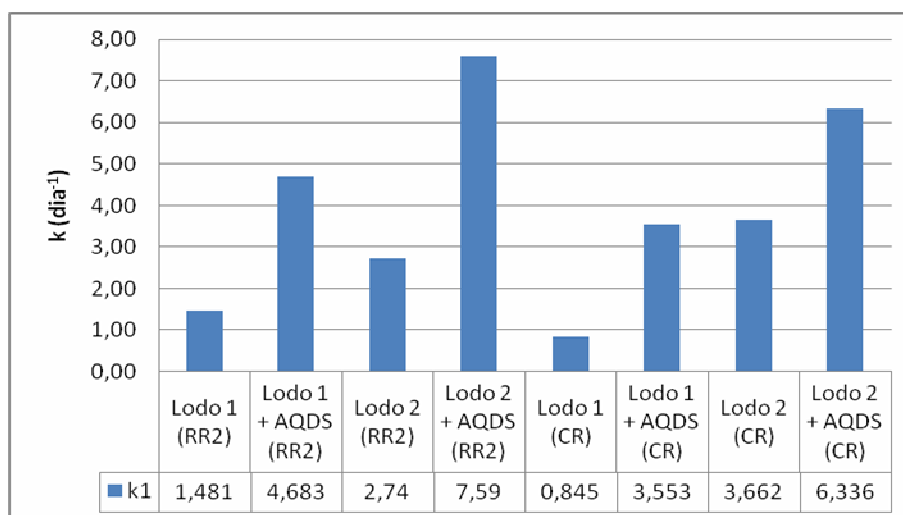


Figura 3 - Efeito do tipo de inóculo e do mediador redox AQDS na redução dos corantes RR2 e Congo Red (CR) na presença de formiato como doador de elétrons.

Experimento de fluxo contínuo para comprovar o aumento de eficiência de remoção de cor devido ao emprego de mediadores redox.

Operaram-se inicialmente os reatores R1 e R2 por um período de 19 dias, sem qualquer contato com o corante *Congo Red* e o mediador redox AQDS. Após condições estáveis de operação, o corante e o mediador redox foram introduzidos no sistema. Comprovou-se através do experimento de fluxo contínuo, que a remoção de cor foi quase que imediata em ambos os reatores, indicando um processo co-metabólico. Observou-se uma adsorção inicial do corante à manta de lodo, mas esta não foi a principal razão da remoção inicial de cor nos reatores.

Na primeira fase (Tabela 4), o reator 1 (sem AQDS) operou com uma média de eficiência de 94,9% e o reator 2 (com AQDS) operou com uma média de 99,2%. Na segunda fase, quando a concentração do corante dobrou para 1,2 mM, o reator 1 teve sua média aumentada para 96,6% e o reator 2 apresentou uma média de 98,1% na eficiência de remoção de cor. Já na terceira fase, quando a COV foi diminuída para 1,0 Kg DQO m⁻³ d⁻¹, os reatores 1 e 2 apresentaram as respectivas eficiências: 94,2% e 98,4%. Diante disso, percebe-se que o etanol mesmo em baixas concentrações, é capaz de atuar de forma eficiente na redução do composto modelo *Congo Red*. Isik e Sponza (2005) também observaram que mesmo diminuindo a concentração de glicose, ou seja, do doador de elétrons, a descoloração do *Congo Red* se dava de forma muito eficiente. O equilíbrio na remoção

de cor após a redução da concentração de etanol é devido ao fato de o doador de elétrons está em abundância quando comparado à quantidade necessária para haver a redução do corante.

Constatou-se que o reator 2 operou com mais estabilidade durante as três fases de operação do que o reator 1 e o efeito do mediador redox AQDS nas fases de operação, não foi tão marcante quando comparado aos resultados obtidos em batelada (Figura 4). Tal comportamento se deu muito provavelmente, pela maior concentração de lodo no experimento em fluxo contínuo e diferenças cinéticas de crescimento microbiano e de degradação do substrato, além é claro, da utilização de um corante relativamente fácil de ser reduzido. Supõe-se que para um corante mais recalcitrante, as diferenças seriam mais marcantes.

Tabela 4 - Dados operacionais do experimento de fluxo contínuo nos três períodos da pesquisa.

<i>Período</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
<i>Fim do Período (dias)</i>	23	85	141
COV KgDQO/m ³ .d	2,5	2,5	1,0
Congo Red mM	0,6	1,2	1,2
AQDS (μM) R1	-	-	-
AQDS (μM) R2	50	50	50
Remoção de cor R1 (%)	94,9	96,6	94,2
Remoção de cor R2 (%)	99,2	98,1	98,4

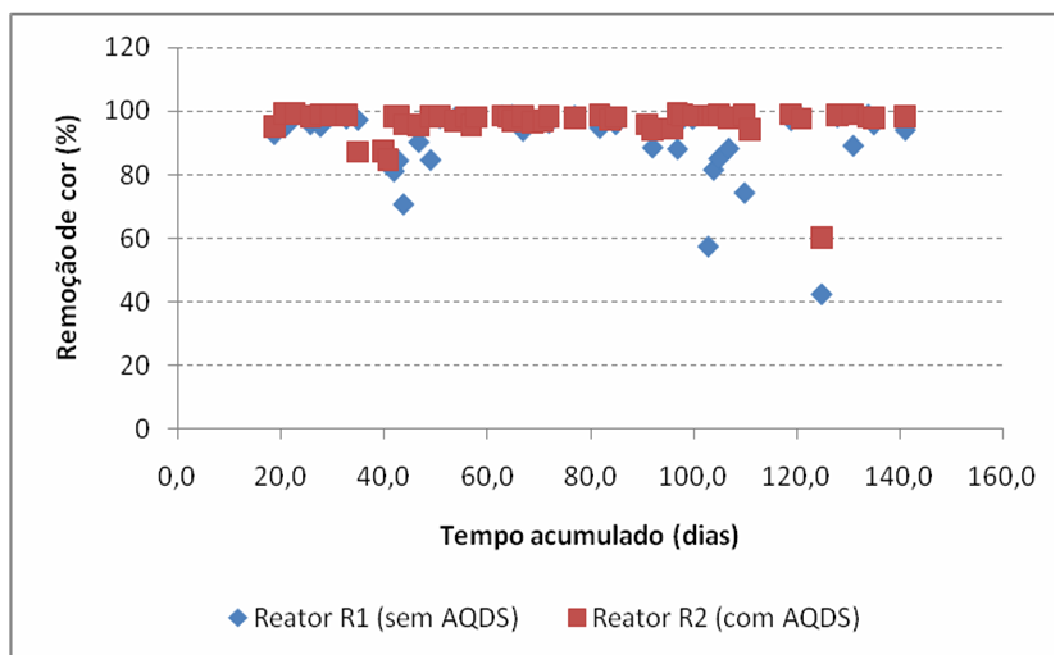


Figura 4 - Efeito do mediador redox AQDS na redução do corante *Congo Red* na presença do etanol como doador de elétrons em experimento em fluxo contínuo.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- Os reatores anaeróbios mesofílicos alcançaram altas taxas de descoloração de corantes, em que o composto etanol mostrou-se um doador de elétrons efetivo para o processo de remoção de cor.
- O efeito do mediador redox AQDS, como catalisador do processo de redução do corante *Congo Red* no experimento de fluxo contínuo não foi tão marcante quando comparado aos experimentos em batelada.
- O experimento em batelada mostrou que o formiato foi o melhor doador de elétrons para a redução do corante *RR2* e o etanol foi o melhor na descoloração do *Congo Red*.

REFERÊNCIAS

APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C.. American Public Health Association. 1998.

CERVANTES, F. J.; VU-THI-THU L.; LETTINGA, G. ; FIELD, J.A.. *Quinone-respiration improves dechlorination of carbon tetrachloride by anaerobic sludge*. Applied Microbiology and Biotechnology, v.64, p.702-711. 2004.

DOS SANTOS, A.B. *Reductive Decolourisation of Dyes by Thermophilic Anaerobic Granular Sludge*. PhD-Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 176 p., 2005a.

DOS SANTOS, A.B. *Aplicação conjunta de tratamento anaeróbio termofílico por lodo granular e de mediadores redox na remoção de cor de águas residuárias têxteis*. Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 10- Nº 3- p. 253-259. 2005b.

DOS SANTOS, A.B.; BISSCHOPS, I.A.E.; CERVANTES, F.J.; VAN LIER, J.B. *Effect of different redox mediators during thermophilic azo dye reduction by anaerobic granular sludge and comparative study between mesophilic (30 °C) and thermophilic (55 °C) treatments for decolourisation of textile wastewaters*. Chemosphere, v. 55, p. 1149-1157. 2004.

DOS SANTOS, A.B.; TRAVERSE, J.; CERVANTES, F.J.; VAN LIER, J.B. *Enhancing the electron transfer capacity and subsequent colour removal in bioreactors by applying thermophilic anaerobic treatment and redox mediators*. Biotechnology and Bioengineering, v.89, n.1, p. 42-52. 2005.

DOS SANTOS, A.B.; DE MADRID, M.P.; DE BOK, F.A.M.; STAMS, A.J.M.; VAN LIER, J.B.; CERVANTES, F.J. *The contribution of fermentative bacteria and methanogenic archaea to azo dye reduction by a thermophilic anaerobic consortium*. Enzyme and Microbial Technology, v. 39, n.1, p. 38-46. 2006.

ISIK, M; SPONZA, D.T. *Effects of alkalinity and co-substrate on the performance of an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor through decolorization of Congo Red azo dye*. Bioresource Technology, v.96, p.633-643, 2005.

LOVLEY, D. R., et al. *Humic substances as electron acceptors for microbial respiration*. Nature, v.382, p. 445-448. 1996.

RAU, J.; KNACKMUSS, H. J.; STOLZ, A. *Effects of different quinoid redox mediators on the anaerobic reduction of azo dyes by bacteria*. Environmental Science and Technology. V.36, n.7, p 1497-1504, 2002.

RAZO FLORES, E. *Biotransformation and biodegradation of N- substituted aromatics in methanogenic granular sludge*. Ph.D Thesis, Wageningen University. Wageningen, The Netherlands, 1997.

WEISBURGER, J. H. *Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health*. Mutation Research, v. 506-507, p. 9-20. 2002.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Saneamento da UFC (Labosan), ao Colégio Christus e ao CNPq pela bolsa Pibic e apoio financeiro (Processo 470310/2007-3 do Edital Universal).