

AVALIAÇÃO DA DESINFECÇÃO DE ÁGUA POR REATOR UTILIZANDO RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Mara Gomes Lobo¹

Bruno Passos da Costa¹

Elisabeth Wisbeck^{1,2}

RESUMO

O tratamento de água para consumo humano tem evoluído nos últimos anos em decorrência da necessidade de eliminar poluentes físico-químicos e biológicos causados pela ação antrópica. A possibilidade de contrair doenças pela água já é, há muito tempo, sabida pelo homem. A água potável deve estar isenta de microrganismos patogênicos e a eliminação ou inativação desses microrganismos é conhecida como desinfecção. Atualmente existem diferentes métodos de desinfecção de água. O mais utilizado é o desinfetante químico cloro (Cl₂). Alguns agentes físicos também podem ser utilizados na desinfecção de águas, como a radiação ultravioleta (UV) através de reator específico que possui acoplado em seu interior uma lâmpada UV. O objetivo deste trabalho foi, através de planejamentos experimentais, variando-se a concentração do microrganismo (*Escherichia coli* ou *Saccharomyces cerevisiae*) e o tempo de exposição à radiação UV, conhecer qual a melhor condição para obter-se maior inativação dos microrganismos em um reator de 2,5L operando com uma lâmpada UV de 30W. A maior inativação, 99,96%, foi obtida com amostra contendo 0,01g/L de células de *Escherichia coli* irradiadas durante 60s por UV. Para *Saccharomyces cerevisiae* a maior eficiência de inativação de 99,76% foi obtida, quando amostras de 0,01g/L de células foram tratadas durante 60s por radiação UV.

Palavras-chave: inativação, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*

ABSTRACT

Evaluation of the disinfection of water by reactor using ultraviolet radiation.

The treatment of drinking water has evolved in recent years due to the need to eliminate physical, chemical and biological pollutants caused by human action. The possibility of contracting diseases by water has been known for a long time.

¹ Programa de Mestrado em Engenharia de Processos da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE. Campus Universitário s/n., Bairro Bom Retiro, Joinville – SC, CEP 89.201-974.

² Departamento de Engenharia Ambiental. E-mail: elisabeth.wisbeck@univille.br

Drinking water should be free of pathogenic microorganisms and the elimination or inactivation of microorganisms is known as disinfection. Currently there are different methods of disinfecting water. The most used is the chemical disinfectant chlorine (Cl_2). Some physical agents can also be used for the disinfection of water, such as ultraviolet radiation (UV) through a special reactor that has attached to its inside a UV lamp. This experimental study was developed, aiming to, varying the concentration of microorganisms (*Escherichia coli* or *Saccharomyces cerevisiae*) and time of exposure to UV radiation, knowing the best condition to obtain the highest inactivation of microorganisms in a reactor of 2.5L operating with a 30W UV lamp. The highest inactivation, 99.96%, was obtained using a sample containing 0.01g.L^{-1} of *Escherichia coli* cells irradiated during 60s by UV radiation. For *Saccharomyces cerevisiae*, the greatest efficiency of inactivation of 99.76% was obtained when samples of 0.01g.L^{-1} cells 60s were treated by UV radiation.

Key words: inactivation, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*

INTRODUÇÃO

A água, fonte de riqueza, motivo de sobrevivência e falência para a população do planeta, tem sido alvo de campanhas e noticiários dos principais meios de comunicação. Notícias relacionadas aos problemas de saúde pública vinculam a água como o principal meio para a transmissão de agentes patogênicos causadores de diversas doenças como a cólera, a febre tifóide e algumas verminoses (Silva et al., 2001).

Apesar do cloro (Cl_2), líquido ou gasoso, ser o desinfetante químico mais utilizado na desinfecção para produção de água potável, muitas pesquisas foram feitas no Brasil e em outros países, buscando consolidar tecnologias e parâmetros que viabilizem o uso da radiação ultravioleta, visando a uma maior adequação e otimização do processo para a utilização eficaz desse no atendimento à população, tanto no âmbito industrial como no de saúde pública (Tanaka et al., 1996; Souza, 2000; Souza et al., 2000; Daniel, 2001; Aguiar et al., 2002; Sá Silva et al., 2003; Amaral et al., 2006; Bilotta e Daniel, 2006; Walkling-Ribeiro et al., 2008).

Um equipamento de desinfecção de água por radiação ultravioleta, para ser eficiente, necessita garantir uma dose letal. Segundo Edstrom Industries Inc. (2003), a dose letal depende de uma série de condições físico-químicas da água, como por exemplo, grau de turbidez ($< 5\text{ NTU}$), sólidos em suspensão ($< 10\text{mg/L}$), concentração de ferro ($< 0,3\text{ mg/L}$) e manganês ($< 0,05\text{ mg/L}$) e dureza ($< 6\text{ mg/L CaCO}_3$). Ainda

existe a necessidade de se estudar a eficiência de inativação de diferentes microrganismos expostos à radiação ultravioleta, em decorrência de que cada microrganismo comporta-se com maior ou menor resistência à inativação diante de diferentes doses de radiação aplicada (Wright e Cairns, 1998).

Assim este trabalho objetivou avaliar a eficiência de desinfecção de água, contendo diferentes microrganismos, por radiação ultravioleta, em processo batelada, através de planejamentos fatoriais 2^2 , variando-se a concentração de *Escherichia coli* e de *Saccharomyces cerevisiae* e o tempo de exposição à radiação UV.

MATERIAL E MÉTODOS

Microrganismos e manutenção

Os microrganismos utilizados nos experimento foram a bactéria *Escherichia coli* CCT 1371 obtido da Coleção de Culturas Tropicais da Fundação “André Toselo” (Campinas – SP) e a levedura *Saccharomyces cerevisiae* de panificação (comercial).

Escherichia coli foi mantida em meio NA (“Nutrient Agar”) e *S. cerevisiae* em meio YMA (“Yeast Malt Agar”), a 4°C e os repiques foram realizados mensalmente.

Escherichia coli foi utilizada por ser um microrganismo indicador de qualidade de água vastamente estudado. *Saccharomyces cerevisiae* foi testado para avaliar a eficiência do reator com fungo unicelular, que apresenta maior resistência à radiação ultravioleta, necessitando de uma dose de 13,2 mWs/cm² para inativar 99% de células, enquanto a bactéria *E. coli* necessita apenas a metade desta dose (6,6mWs/cm²), conforme Wright e Cairns (1998).

Meios de cultivo

Para a manutenção e a contagem de células viáveis de *E. coli* o meio NA (5,0 g/L de peptona; 3,0 g/L de extrato de carne e 15 g/L de ágar) foi utilizado, e, para a manutenção e a contagem de células viáveis de *S. cerevisiae*, o meio utilizado foi o YMA (3,0 g/L de extrato de levedura, 3,0 g/L de extrato de malte, 5,0 g/L de peptona; 10,0 g/L de glicose e 15 g/L de ágar).

Para a produção dos microrganismos em meio líquido, os mesmos meios, NA e YMA, foram utilizados, sem a adição de ágar.

Preparo das amostras

Escherichia coli foi cultivada em frascos Erlenmeyer de 250mL contendo 100mL de meio NB, esterilizados a 121°C por 15 minutos, e incubadas estaticamente por 24 horas a 37°C. *Saccharomyces cerevisiae* foi cultivada em frasco Erlenmeyer de 250mL contendo 100mL de meio YM e incubada estaticamente a 30°C por 24 horas. Após o crescimento dos microrganismos, as células foram centrifugadas, o sobrenadante desprezado e as células lavadas e ressuspensas em água destilada.

Para a obtenção do valor da concentração celular inicial de *E. coli* e *S. cerevisiae* utilizou-se equações 1 (*E. coli*) e 2 (*S. cerevisiae*) que relacionam concentração celular [C] (g/L) e absorvância (*Abs*) (460nm).

$$[C] = \frac{Abs + 0,0092}{0,9638} \quad (1)$$

$$[C] = \frac{Abs + 0,101}{0,9573} \quad (2)$$

De posse do valor da concentração celular inicial, realizaram-se diluições adequadas, a fim de obterem-se as concentrações finais desejadas (0,01 e 0,1 g/L).

Após a realização da diluição, para obtenção de 3L de amostra, novamente mediu-se a absorvância (460nm) e esse valor foi substituído nas equações de correlação (1 e 2) para verificação da concentração alcançada. Uma fração desta amostra foi utilizada para a contagem do número inicial de células viáveis (N_0) em UFC (Unidade Formadora de Colônia).

Tratamento das amostras

As amostras foram tratadas por radiação ultravioleta (UV), segundo planejamentos experimentais (a) e (b), utilizando-se dois fatores (variáveis) em dois níveis (2²), apresentados na Tabela 1. Os planejamentos experimentais foram elaborados segundo Barros Neto et al. (1996). Todos os experimentos foram realizados em duplicata.

Tabela 1. Planejamentos experimentais (a e b) dos experimentos variando-se o tempo de exposição (s) e a concentração celular (g/L). Os índices (-) e (+) indicam o nível de cada fator como inferior e superior, respectivamente.

(a)	Fatores	Níveis	
	Tempo de exposição (s)	-	+
	Concentração celular (g/L)	30	60
		0,01	0,1
Experimentos	Tempo	Concentração celular	
01	-	-	
02	-	+	
03	+	-	
04	+	+	

(b)	Fatores	Níveis	
	Tempo de exposição (s)	-	+
	Concentração celular (g/L)	60	120
		0,01	0,1
Experimentos	Tempo	Concentração celular	
01	-	-	
02	-	+	
03	+	-	
04	+	+	

Dados do reator fotorreativo utilizado

Dados do fabricante: reator em aço inoxidável 316 de volume de 2,5L acoplado com uma lâmpada UV de 30W (submersa). Comprimento e diâmetro da câmara de 90 e 7,6 cm, respectivamente. Dosagem máxima de radiação UV emitida de 30.000 mWs/cm² a uma vazão de até 2L/h.

1. Condições de operação

O reator utilizado foi projetado para operar em regime contínuo, no entanto, por se tratar de estudos iniciais sobre a eficiência de desinfecção de águas por UV nesse reator, optou-se por operá-lo em regime batelada.

O volume (3L) de amostra foi acondicionado em frasco Duran de 5L, previamente esterilizado a 121°C por 20 minutos. Com o auxílio de uma bomba peristáltica, a amostra foi transferida para o interior do reator, sendo que as mangueiras da bomba haviam sido tratadas assepticamente com etanol 70%.

Após preencher o reator com a amostra, a lâmpada UV foi ligada por 30, 60 ou 120 segundos, dependendo do experimento (Tabela 1). Após o tempo de exposição, a luz foi desligada e toda a amostra contida no reator foi retirada em condições assépticas. A amostra foi homogeneizada e uma fração foi utilizada para a contagem do número de células viáveis (N) em UFC (Unidade Formadora de Colônia).

Análises

1. Turbidez

A turbidez foi medida através do método de leitura automática (auto-range) de um turbidímetro modelo 2100P – HACH, em unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

2. Contagem de células viáveis

O número inicial de células viáveis (N_0) das amostras antes da exposição à radiação UV e o número de células viáveis (N) das amostras, após a exposição à radiação UV, foram avaliados pelo método de contagem em placa de células viáveis (Siqueira, 1995).

As amostras foram devidamente diluídas em solução salina (0,9%) e 0,1mL da cada diluição foram inoculados em placas de Petri, contendo meio de cultivo específico para cada microrganismo. A inoculação foi feita com alça de Drigalsky (plaqueamento em superfície). A incubação foi a 37 °C para as placas de *E. coli* e a 30°C para as placas de *S. cerevisiae*, durante 24h. Para fins estatísticos, placas contendo entre 30 e 300 colônias foram consideradas para a obtenção do valor de UFC (Unidade Formadora de Colônia)/mL (Equação 3).

$$N_0 \text{ ou } N = \frac{Nc \times d}{V} \quad (3)$$

Onde:

N_0 e N – Número inicial de células viáveis e número de células viáveis após a exposição à radiação UV (UFC/mL), respectivamente,

Nc – Número de colônias na placa considerada (UFC),

d – Diluição da placa considerada,

V – Volume de amostra inoculado (0,1mL).

3. Inativação

Os percentuais de inativação dos microrganismos foram calculados de acordo com a Equação 4.

$$\text{Inativação(\%)} = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \quad (4)$$

Tratamento estatístico

Para a análise estatística dos resultados obtidos do planejamento experimental, foi utilizada a análise de Pareto (BARROS NETO et al., 1996), através do “software STATISTICA 7.0®”, que permite identificar e quantificar o efeito de cada um dos fatores e de suas interações nos experimentos realizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de inativação da bactéria *Escherichia coli* e da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtidos, variando-se o tempo de exposição à radiação UV em 30 e 60s e a concentração celular em 0,01 e 0,1 g/L, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Percentual de inativação de *Escherichia coli* e de *Saccharomyces cerevisiae* variando-se o tempo de exposição à radiação UV em 30 e 60s e a concentração celular em 0,01 e 0,1 g/L. (a) e (b) são as repetições, em duplicata, de cada ensaio.

Ensaio	Tempo de exposição (s)	Concentração celular (g/L)	Turbidez <i>E.coli</i> / <i>S.cerevisiae</i> (NTU)	Inativação de <i>E. coli</i> (%)		Inativação de <i>S. cerevisiae</i> (%)	
				(a)	(b)	(a)	(b)
1	30	0,01	0,8 / 13,0	99,620	99,580	99,040	98,810
2	30	0,1	5,0 / 25,0	89,750	89,870	95,860	95,400
3	60	0,01	0,8 / 13,0	99,955	99,957	99,770	99,750
4	60	0,1	5,0 / 25,0	99,933	99,934	96,420	96,640

Com os dados da Tabela 2, foram calculados os resultados apresentados na Tabela 3, que correspondem aos efeitos sobre a inativação. Um efeito negativo expressa que o valor da variável aumenta na direção do nível inferior e um efeito positivo que o valor da variável aumenta na direção do nível superior.

Tabela 3. Efeitos do tempo de exposição à radiação UV e da concentração celular sobre a inativação de *Escherichia coli* e de *Saccharomyces cerevisiae* calculados para o planejamento fatorial 2² com um nível mínimo de 95% de confiança, variando-se o tempo de exposição à radiação UV em 30 e 60s e a concentração celular em 0,01 e 0,1 g/L.

Fatores	Efeito ± erro padrão	
	Inativação <i>Escherichia coli</i> (%)	Inativação <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (%)
1. Tempo de exposição à UV (s)	5,23975* ± 0,031628	0,86750* ± 0,139933
2. Concentração celular (g/L)	-4,90625* ± 0,031628	-3,26250* ± 0,139933
Interação entre 1 e 2.	4,88375* ± 0,031628	0,03250 ± 0,139933

*Efeito significativo.

Com respeito ao tempo de exposição (s) à radiação UV, verifica-se, de acordo com a Tabela 3, que esse apresentou influência positiva sobre a inativação tanto de *E. coli* quanto de *S. cerevisiae*, sendo o tempo de 60s mais efetivo que o de 30s. A concentração celular apresentou efeito negativo para ambas as espécies microbianas, sendo a concentração de 0,01g/L de células mais facilmente inativada. As Figura 1 apresenta o efeito do tempo de exposição à UV e da concentração celular sobre a inativação de *E. coli*, obtidos a partir dos dados apresentados na Tabela 2.

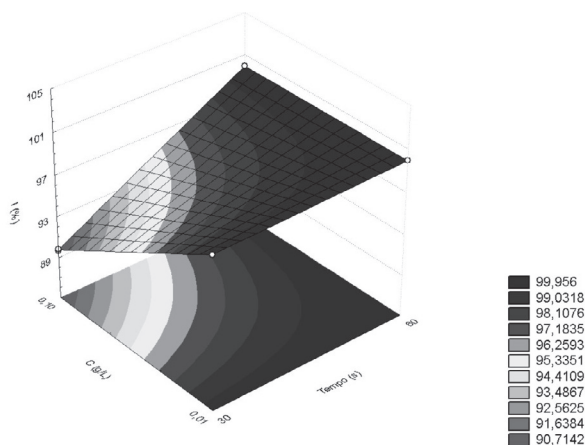


Figura 1. Efeito do tempo de exposição à radiação UV (30 e 60s) e da concentração celular (0,01 e 0,1g/L) sobre a inativação (I %) de *Escherichia coli*.

Analisando-se a Figura 1, verifica-se que os valores mais elevados de inativação, em torno de 100%, foram alcançados tanto com concentração de 0,01 quanto de 0,1 g/L, no entanto, em concentração menor, esse percentual estende-se para qualquer valor de tempo, dentro da faixa estudada. Esses resultados estão de acordo com a análise estatística de Pareto (Tabela 3), que mostra que a concentração celular tem influência negativa sobre a inativação da *E. coli*, enquanto o tempo de exposição tem efeito foi positivo.

Com respeito à influência do tempo de exposição (s) à radiação UV de *S. cerevisiae*, verifica-se, de acordo com a Tabela 3, um comportamento similar ao da *E. coli*, ou seja, o tempo de 60s inativou mais células que o de 30s e a concentração celular de 0,01g/L foi mais facilmente inativada. Porém, ao contrário do observado para *E. coli*, no caso de *S. cerevisiae* o efeito da concentração celular (3,26250 %) foi maior que o efeito do tempo (0,86750 %). Isso pode ser melhor observado na Figura 2, em que se nota que, quando o tempo de exposição à radiação UV aumentou de 30 para 60s, houve um aumento na inativação de *S. cerevisiae* tanto em concentração 0,01g/L quanto em 0,1g/L. No entanto, com a concentração menor obteve-se maiores percentuais de inativação.

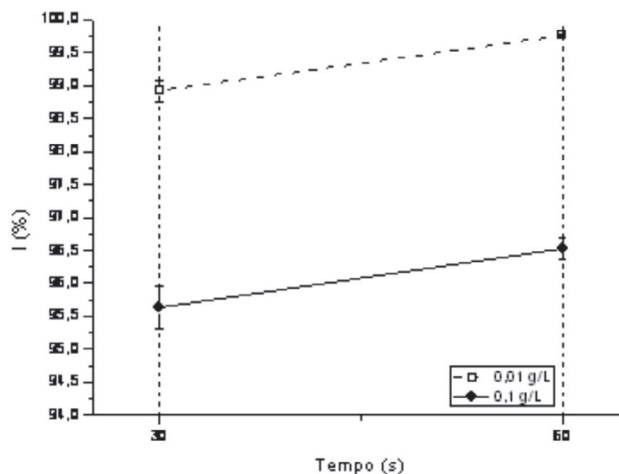


Figura 2. Médias previstas para a inativação (I %) de *Saccharomyces cerevisiae* em resposta a interação dos fatores tempo de exposição à UV (30 e 60s) e concentração celular (0,01 e 0,1g/L).

Os resultados desse planejamento mostram, sem dúvida, que o tempo de 60s, foi melhor para o processo de inativação de *E. coli* e de *S. cerevisiae*. Com respeito à concentração celular, nenhuma conclusão definitiva foi observada.

Com base no exposto, um novo planejamento experimental foi realizado, conforme mostrado na Tabela 1b e os resultados gerais obtidos, variando-se o tempo de exposição à radiação UV em 60 e 120s e a concentração celular em 0,01 e 0,1 g/L, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Percentual de inativação de *Escherichia coli* e de *Saccharomyces cerevisiae* variando-se o tempo de exposição à radiação UV em 60 e 120s e a concentração celular em 0,01 e 0,1 g/L. (a) e (b) são as repetições, em duplicata, de cada ensaio.

Ensaio	Tempo de exposição (s)	Concentração celular (g/L)	Turbidez <i>E.coli</i> / <i>S.cerevisiae</i> (NTU)	Inativação de <i>E. coli</i> (%)		Inativação de <i>S. cerevisiae</i> (%)	
				(a)	(b)	(a)	(b)
3	60	0,01	0,8 / 13,0	99,955	99,957	99,77	99,75
4	60	0,1	5,0 / 25,0	99,933	99,934	96,42	96,64
5	120	0,01	0,8 / 13,0	99,94	99,94	99,76	99,77
6	120	0,1	5,0 / 25,0	99,63	99,70	99,60	99,60

Com os dados da Tabela 4 foram calculados os resultados apresentados na Tabela 5 que correspondem aos efeitos das variáveis sobre a inativação.

Tabela 5. Efeitos do tempo de exposição à radiação UV e da concentração celular sobre a inativação de *Escherichia coli* e de *Saccharomyces cerevisiae* calculados para o planejamento fatorial 2² com um nível mínimo de 95% de confiança, variando-se o tempo de exposição à radiação UV em 60 e 120s e a concentração celular em 0,01 e 0,1 g/L.

Fatores	Efeito ± erro padrão	
	Inativação <i>Escherichia coli</i> (%)	Inativação <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (%)
1. Tempo de exposição à UV (s)	-0,14225* ± 0,017509	1,53750* ± 0,055283
2. Concentração celular (g/L)	-0,14875* ± 0,017509	-1,69750* ± 0,055283
Interação entre 1 e 2.	-0,12625* ± 0,017509	1,53250* ± 0,055283

*Efeito significativo.

De acordo com a Tabela 5, verifica-se que todas as variáveis apresentaram efeito significativo para *E. coli* e *S. cerevisiae*. Com relação à *E. coli*, o tempo de exposição apresentou influência negativa sobre a inativação, ou seja, apesar do tempo de 120s ser maior, 60s foi mais efetivo. Da mesma forma, a concentração celular apresentou efeito negativo, sendo a concentração de 0,01g/L de células mais facilmente inativada. A interação do tempo de exposição e da concentração também apresentou efeito sobre a inativação de *E. coli*. A Figura 3 apresenta o efeito interativo do tempo de exposição à UV e da concentração celular e a Figura 4 a comparação de médias para a inativação de *E. coli*.

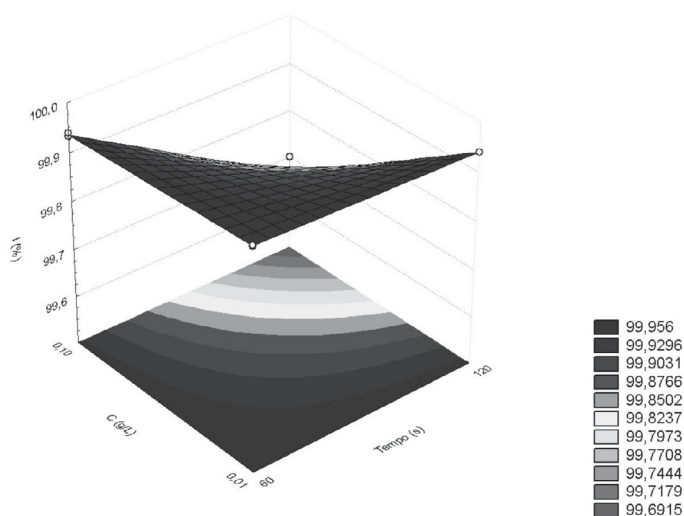


Figura 3. Efeito do tempo de exposição à radiação UV (60 e 120s) e da concentração celular (0,01 e 0,1g/L) sobre a inativação (I %) de *Escherichia coli*.

As Figuras 3 e 4 mostram que a melhor condição de operação do reator tende para tempo de exposição à radiação de 60s a uma concentração celular de 0,01g/L, pois para a concentração maior (0,1g/L) a inativação cai de 99,93% para 99,67%, como mostra, especificamente, a Figura 4. A Figura 3 apresenta mais detalhadamente que, em concentração baixa (0,01g/L), a inativação é praticamente constante para qualquer tempo de exposição testado e que em tempos menores, a inativação é praticamente constante para qualquer concentração avaliada.

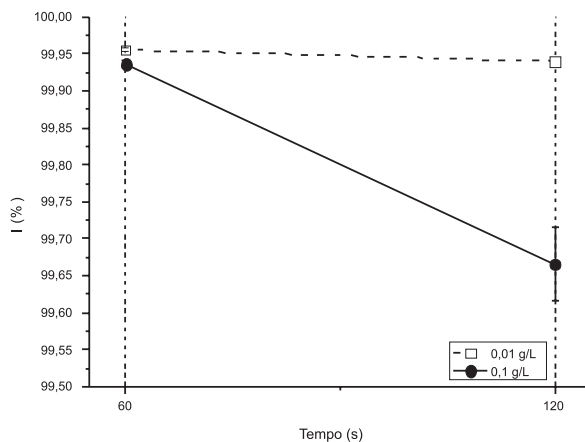


Figura 4. Médias previstas para a inativação (I %) de *Escherichia coli* (%) em resposta a interação dos fatores tempo de exposição à UV (60 e 120s) e concentração celular (0,01 e 0,1g/L).

Com respeito à influência do tempo de exposição à radiação UV sobre *S. cerevisiae*, verifica-se, de acordo com a Tabela 5, que esse apresentou efeito positivo sobre a inativação, enquanto a concentração celular apresentou um efeito negativo. A Tabela 5 mostra, ainda, que a inativação sofreu efeito interativo das duas variáveis. A Figura 5 detalha o efeito de interação, pois mostra que, em concentração baixa (0,01g/L), a inativação é praticamente constante para qualquer tempo de exposição testado e que em tempos maiores (120s), a inativação é praticamente constante para qualquer concentração avaliada.

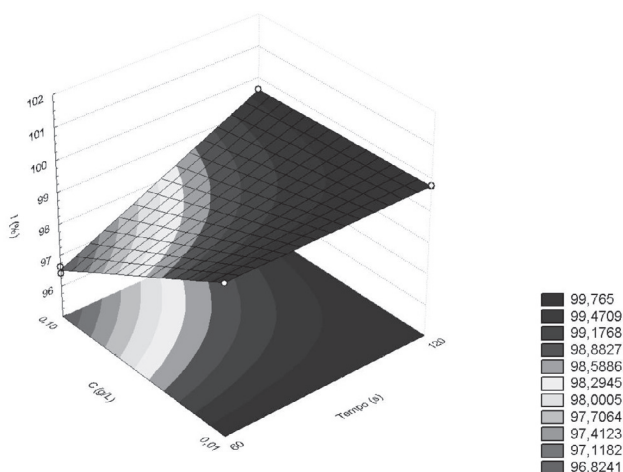


Figura 5. Efeito do tempo de exposição à radiação UV (60 e 120s) e da concentração celular (0,01 e 0,1g/L) sobre a inativação (I %) de *Saccharomyces cerevisiae*.

Assim, para escolher qual o melhor tempo de exposição e melhor concentração celular para a inativação de *S. cerevisiae*, foi construída a Figura 6, que mostra que, independentemente do tempo, a concentração de 0,01g/L de células apresentou inativação constante, sugerindo que um tempo maior de exposição, não influencia a inativação das células nesta concentração. No entanto, com concentração maior de células (0,1g/L), para chegar a valores de inativação similares aos encontrados com concentração menor, um maior tempo (120s) de exposição à radiação UV foi exigido. Portanto, os resultados mostram que uma concentração de células de 0,01g/L com tempo de exposição de 60s é suficiente para obter-se os maiores percentuais de inativação (99,76%).

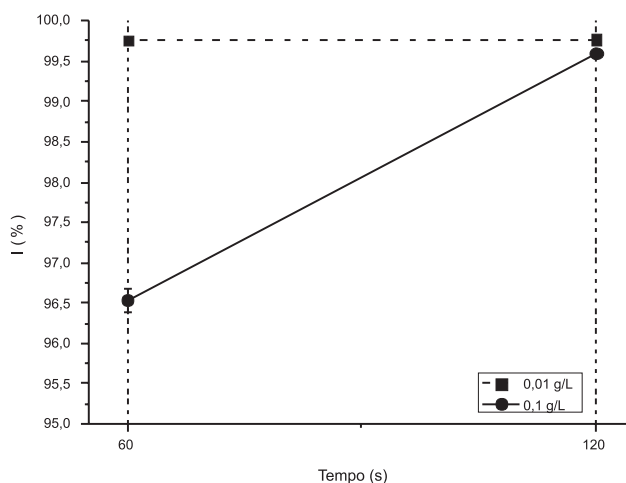


Figura 6. Médias previstas para a inativação (I %) de *Saccharomyces cerevisiae* (%) em resposta a interação dos fatores tempo de exposição à UV (60 e 120s) e concentração celular (0,01 e 0,1g/L).

Aguiar et al. (2002) utilizaram a radiação ultravioleta (UV) na desinfecção de águas empregando água sintética contaminadas com *E. coli* em concentrações de 10^2 a 10^7 NMP/100mL e submetidas à exposição UV por tempos de contato de 60, 180 e 300s. Os ensaios realizados resultaram em inativação completa dos microrganismos nos tempos de contato de 180 e 300s. No entanto, Bilotta e Daniel (2006), em experimentos com *E. coli*, mostraram que 30s de exposição à radiação UV levaram à inativação de 100% das células. A diferença nos melhores tempos de exposição encontrados em nosso trabalho (60s) e na literatura (30, 180 e 300s) podem ser devido a diferentes concentrações celulares e doses de radiação utilizadas.

As Tabelas 2 e 4, mostram, ainda, os valores de turbidez (NTU) obtidos para as concentrações de 0,01g/L (0,8 NTU) e de 0,1g/L (5,0 NTU) de *E. coli* e de 13 e 25NTU para as concentrações de *S.cerevisiae* de 0,01 e 0,1g/L, respectivamente. Segundo recomendações da Edstrom Industries Inc. (2003), para uma maior eficiência no tratamento de água por radiação UV, essa deve apresentar no máximo um valor de turbidez de 5NTU e de sólidos suspensos de 10mg/L. Provavelmente essas partículas dificultam a incidência da luz UV nos microrganismos (Souza et al., 2000).

Em nosso trabalho, para *E. coli*, um valor máximo de 5NTU foi utilizado para a concentração de 0,1g/L correspondente a 100mg/L de sólidos em suspensão, concentração 10 vezes maior que a máxima sugerida. Verificou-se que nessa concentração foi necessário um maior tempo de exposição à radiação (60s) para obter-se um valor de inativação similar (99,9%) ao encontrado para a concentração de 0,01g/L, ou seja de 10mg/L de sólidos em suspensão ou ainda de 0,8NTU.

Souza (2000), ao realizar experimentos de desinfecção de água contendo como indicador a bactéria *E. coli* em concentrações conhecidas, também observou a influência da turbidez na inativação, pois nos experimentos utilizando água com turbidez de 2 NTU, 99,99% de *E. coli* foram inativadas em 20s. Quando a turbidez foi aumentada para 50 NTU, esse tempo aumentou para 120s com uma inativação de 99,97%.

No entanto, experimentos realizados por Bilotta e Daniel (2006) com *E. coli* mostraram que há pouca diferença na eficiência de inativação proporcionada pela radiação UV, mesmo com a influência de sólidos suspensos totais (SST). Utilizando amostras com 21mg/L e com 135mg/L de SST (sólidos suspensos totais), a eficiência de inativação foi de 100% e 99,0%, respectivamente, após 120s de tempo de contato.

Em nosso trabalho, o efeito da turbidez foi muito mais acentuado para *S. cerevisiae*, pois, como mostram as Tabelas 2 e 4, independentemente do tempo, as amostras de água com turbidez maior (25NTU) apresentaram menores percentuais de inativação que as amostras com turbidez menor (13NTU), no entanto, ainda assim, percentuais de inativação superiores a 99% foram obtidos com turbidez de 13NTU.

CONCLUSÕES

A maior inativação, 99,96%, foi obtida com amostra de 0,01g/L de células (0,8NTU) de *Escherichia coli* irradiadas durante 60s por UV.

Para *Saccharomyces cerevisiae* a maior eficiência de inativação de 99,76% foi obtida, com amostra de 0,01g/L de células (13NTU) tratadas durante 60s por radiação UV.

O melhor tempo de exposição à UV pode variar devido às diferentes concentrações celulares e doses de radiação utilizadas, sendo imprescindível, para a continuidade dos trabalhos, avaliar a dose de radiação neste reator.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. M. S. et al. 2002. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 7:37-47.
- AMARAL, L. A. et al. 2006. Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos. **Arquivos do Instituto Biológico (São Paulo)**, 73(1):45-50.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. 1996. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2.ed. Campinas: Editora da Unicamp, 299 p.
- BILOTTA, P.; DANIEL, L. A. 2006. Ozônio e radiação UV na inativação de indicadores patogênicos em esgoto sanitário: análise comparativa. **Minerva**, 3(2):199-207.
- DANIEL, L. A. 2001. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 139 p.
- EDSTROM INDUSTRIES INC. 2003. **Ultraviolet disinfection**. Disponível em: <<http://www.edstrom.com/DocLib/MI4178.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2007.
- SÁ SILVA, C. A. et al. 2003. Evaluation of ultraviolet radiation to control microorganisms adhering to low-density polyethylene films. **Brazilian Journal of Microbiology**, 34:175-178.
- SILVA, J. C. C. et al. 2001. Desenvolvimento e avaliação de um fotorreator simplificado de radiação UV para inativação de coliformes e ovos de helmintos em esgotos tratados. In: Cherchinaro (Org.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbicos**. v. II. Belo Horizonte, PROSAB, p. 229-240.
- SIQUEIRA, R. S. 1995. **Manual de microbiologia de alimentos**. Rio de Janeiro: CTA, EMBRAPA, 159 p.
- SOUZA, J. B. 2000. **Desinfecção de águas com cor e turbidez elevadas: comparação técnica de processos alternativos ao cloro empregando radiação ultravioleta e ácido paracético**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, 147 p.

SOUZA, J. B.; SARTORI, L.; DANIEL, L. A. 2000. Influência da cor e turbidez na desinfecção de águas de abastecimento utilizando-se cloro e radiação ultravioleta. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. p. 1-6.

TANAKA, K.; ABE, K.; HISANAGA, T. J. 1996. Photocatalytic water treatment on immobilized TiO₂ combined with ozonation. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, **101**:85-87.

WALKLING-RIBEIRO, M. et al. 2008. Reduction of *Staphylococcus aureus* and quality changes in apple juice processed by ultraviolet irradiation, pre-heating and pulsed electric fields. **Journal of Food Engineering**, **89**:267–273.

WRIGHT, H. B.; CAIRNS, W. L. 1998. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. In: SIMPOSIO REGIONAL SOBRE CALIDAD DEL AGUA: DESINFECCIÓN EFECTIVA, 1998, Lima. p. 1-28.