UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - RIO CLARO

ECOLOGIA

Lucas Guedes Vieira

Tratamento Eletrolítico para efluentes simulados contendo Acid Red 151

Rio Claro
2011

Lucas Guedes Vieira

Tratamento Eletrolítico para efluentes simulados

Contendo Acid Red 151

Orientador: Prof. Dr. Ederio Dino Bidoia

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de Ecólogo.

Rio Claro
2011

628.1 Vieira, Lucas Guedes
V657t Tratamento eletrolítico para efluentes simulados contendo acid red 151 / Lucas Guedes Vieira. - Rio Claro : [s.n.], 2011
34 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ecologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Ederio Dino Bidoia

1. Abastecimento de água. 2. Tratamento de corante. 3. Ecotoxicidade. 4. Recursos hidricos. 5. Industria textil. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Sumário

1. INTRODUÇÃO 6
2. OBJETIVO 6
2.1. Objetivos específicos 7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7
3.1. Indústria têxtil 7
3.2. Eletrólise 8
3.3. Corante Acid Red 151 8
3.4. O *Saccharomyces cerevisiae* 8
3.5. Ensaio ecotoxicológico 9
4. MATERIAL E MÉTODOS 10
4.1. Ensaio ecotoxicológico 10
4.2. Organismos teste 10
4.3. Sistema eletrolítico 11
4.4. Reagentes e equipamentos 12
4.5. Preparo do efluente 12
4.6. Tratamento eletrolítico e retirada das amostras durante o processo e verificação da absorbância e concentração 13
4.7. Medidas de pH e condutividade 13
4.8.Ensaios de toxicidade com *S. cerevisiae* 14
4.8.1. Preparo da suspensão de S. cerevisiae 14
4.8.2. Preparo dos tubos de ensaio 14
4.8.3. Contagem de células de S. cerevisiae 15
4.9. Leitura dos resultados no espectrofotômetro Hach 15
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 16
5.1. Remoção de cor 16
5.1.1. Tratamento 1 do efluente com corrente de 5,00 A 16
5.1.2. Tratamento 2 do efluente com corrente de 3,00 A 18
5.1.3. Tratamento 3 com corrente de 3,00 A e diminuição da quantidade de cloreto de sódio 20
5.2. Condutividade e pH 23
5.2.1. Tratamento 1 do efluente com corrente de 5,00 A 23
5.2.2. Tratamento 2 do efluente com corrente de 3,00 A 24
5.2.3. Tratamento 3 com corrente de 3,00 A e diminuição da quantidade de cloreto de sodio 25
5.3. Ensaios de toxicidade com *S. cerevisiae* 26
5.3.1. Tratamento 1 do efluente com corrente de 5,00 A 26

5.3.2. Tratamento 2 do efluente com corrente de 3,00 A 26
5.3.3. Tratamento 3 com corrente de 3,00 A e diminuição da quantidade de cloreto de sódio 27
5.4. Ensaio Ecotoxicológico 28
6. CONCLUSÃO 32
7. BIBLIOGRAFIA 33

1. INTRODUÇÃO

A atual forma de desenvolvimento a custas da degradação ambiental gera conflitos sobre o uso e despejo de resíduos provenientes das atividades humanas. O futuro dos recursos hídricos e sua contaminação sejam por resíduos domésticos ou industriais gera grande preocupação no cenário mundial, devido ao aumento de sua indisponibilidade em diversas regiões. Em grandes megacidades a demanda por água potável já ultrapassa a capacidade hídrica de seus mananciais, assim os resíduos têxteis representam uma ameaça devido a seu descarte em mananciais tanto ao pela água como um recurso indispensável, quanto pela degradação do ecossistema e suas diversas formas de vida (MARTÍNEZ, 2007).

Com o apoio da legislação ambiental tem se buscado o controle ou diminuição das substâncias toxicas eliminadas pelo processo industrial (ZAGATTO, 2006). A indústria têxtil apesar de ser grande responsável pela geração de empregos e tendo assim um importante papel na economia, passa a ser uma das grandes responsáveis pela geração e emissão de resíduos contaminantes para o ecossistema. Em tais efluentes encontram-se toxinas mutagênicas e carcinogênicas, que se acumulam na cadeia trófica causando desequilíbrio nas interações ecossistêmicas (ABREU et al., 2004).

Durante a cadeia de produção diversos materiais são utilizados, cabendo ao corante uma importância maior, pois são utilizados em larga escala durante o processo e despejados com grande quantidade de contaminante no ecossistema. Estima-se que 20% da parte do corante se perda nos resíduos do tingimento sendo grande sua poluição. Os impactos no meio são inevitáveis, afetando a absorção de luz pelas comunidades vegetais e animais no ambiente aquático afetando o processo fotossintético fundamental para manutenção de todo sistema. O tratamento de degradação ou retirada dos contaminantes é fundamental a fim de remediar ações impactantes (KUNZ; PERALTA–ZAMORA, 2002).

2. OBJETIVO

Degradação de efluente simulado contendo o corante têxtil, Acid Red 151 pelo processo eletrolítico.

2.1. Objetivos específicos

● Análises dos diversos parâmetros da degradação como: pH, condutividade, absorbância, e ensaios toxicológicos utilizando-se *Saccharomyces cerevisiae* como organismo teste.

● Verificar a influência da corrente aplicada durante o tratamento, a concentração de cloreto de sódio usada e do pH inicial na eficiência do tratamento fotoeletrolítico.

● Monitoramento ecotoxicológico do efluente simulado e sem tratamento utilizando sementes de rúcula (*Eruca sativa*), alface (*Lactuca sativa)* e pepino (*Cucumis sativus L.)* e seu efeito na germinação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Indústria têxtil

A ocupação de áreas litorâneas e próximas a cursos d'água, associada a um processo de urbanização e industrialização desordenado vêem levado a uma intensa contaminação da água. A indústria têxtil colabora de forma expressiva com tal poluição em diversas regiões, inclusive naquelas onde a escassez de água é expressiva, apresentando medidas paliativas diante do grande impacto que causam (ZAGATTO, 2006).

Os resíduos lançados são considerados de alto poder tóxico para a biota aquática, além de causarem eutrofização das águas modificando a diversidade de espécies, alterações na DBO, no oxigênio dissolvido e diminuição da fotossíntese devido à diminuição de entrada de luz na água. Em diferentes graus de toxicidade, causando impacto em toda cadeia trófica do ecossistema devido a sua complexa estrutura molecular que não consegue ser degradada pelos microrganismos presentes no ambientes aquáticos. Alem da poluição visual nos corpos d'água os corantes possuem substancias cancerígenas, mutagênicas e outras altamente prejudiciais ao meio ambiente (CATANHO et al., 2006).

Os corantes são substancias de caráter aromático capazes de colorir irreversivelmente um substrato suporte, sendo usados para a coloração de vários substratos, incluindo papel, couro, pele, cabelos, alimentos, plásticos e materiais têxteis. Devido à grande complexidade dos compostos químicos que formam esses corantes, a nomenclatura usual é pouco usada, sendo mais freqüente identificados pelos seus nomes

comerciais. Os corantes podem ser classificados de acordo com método que é fixado a fibra têxtil ou por sua estrutura química (GUARATINI & ZANONI, 2000).

Devido aos impactos do corante no meio ambiente, os tratamentos estão ficando mais aperfeiçoados nas industriais, a fim de gerar resíduos menos prejudiciais. O processo físico-químico pode ser utilizado na degradação, porem esse processo não destrói a molécula do corante, podendo apenas transformá-la, sendo assim, presente no efluente sob outra forma.

3.2. Eletrólise

A eletrólise consiste em uma reação não espontânea, induzida pelo uso de corrente elétrica. Tal mecanismo pode ser direto ou indireto, sendo o direto a degradação por transferência de carga na superfície do eletrodo, sem interferências de outros elementos e o indireto com um catalisador, como o cloreto de sódio. O processo eletrolítico implementado para o tratamento de efluentes pode ser efetiva já que se utiliza dos equipamentos e áreas já existentes (HARRIS, 2001).

3.3. Corante Acid Red 151

O corante Acid red 151 ($C_{22}H_{15}N_4O_4S^-Na$), produzido pela Aldrich Chemical Company, Inc, solúvel em água será utilizado. O corante Acid Red 151 é um corantes ácido e com o grupo cromóforo azo (Figura 1). Sua estrutura química esta na Figura 01 a seguir:

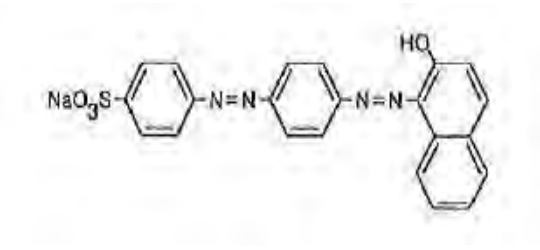


Figura 01: Estrutura química do corante Acid red 151.

3.4. O *Saccharomyces cerevisiae*

Sendo uma levedura que se reproduz por brotamento da célula mãe gerando até 24 células novas (Figura 02), o *Saccharomyces cerevisiae* é utilizado como sistemas-modelo para a pesquisa por suas características. Tais fungos são de facilmente desenvolvimento e multiplicação, sendo não-patogênicas ao ser humano sendo vendido como fermento biológico para diversas finalidades. Os testes de toxidade consistem em

expor o *Saccharomyces cerevisiae*, avaliando os possíveis efeitos causados pelo corante no efluente (Tortora et al., 2005).

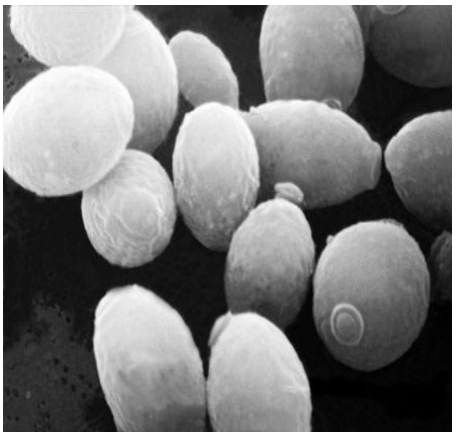


Figura 02: Células do *S. cerevisiae*.

3.5. Ensaio ecotoxicológico

Com a utilização da ecotoxicologia é possível a simulação do efeito de um contaminante sobre um ecossistema analisado, sendo uma ferramenta importante em trabalhos de impactos ambientais. Com os testes toxicológicos é possível avaliar a contaminação da água, sedimento ou solo nos organismos testes quanto a sua sobrevivência, crescimento, reprodução e comportamento. Tais ensaios vão aferir se a toxidade do efluente tratado pelo processo de eletrolise diminui ou aumenta (ZAGATTO, 2006).

As plantas são utilizadas em tais testes, pois em vista que durante o período de germinação e os primeiros dias de desenvolvimento da plântula ocorrem numerosos processos fisiológicos, que na presença de uma substância tóxica pode interferir na sobrevivência e no crescimento, sendo uma etapa de grande sensibilidade frente a fatores externos adversos. Com os parâmetros para a avaliação dos efeitos fitotóxicos determina-se a inibição da germinação e inibição do alongamento da raiz e hipocótilo. A baixa toxidade que não inibiu a germinação da semente pode afetar o prolongamento da raiz ou do hipocótilo, servindo como indicadores não letais do efeito toxicológico (SOBRERO E RONCO, 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Ensaio ecotoxicológico

As sementes utilizadas foram previamente lavadas, para remoção de qualquer contaminante prévio, e serão semeadas em placas de petri com papel de filtro previamente esterelizado, contendo 3,5 mL do efluente como se observa na Figura 3. Os ensaios foram em triplicata contendo 50 sementes cada, exceto os testes com sementes de pepino que pelo seu tamanho, colocou-se 30 sementes. Ao controle positivo foram adicionados 2,5 mL de solução de sulfato de zinco 0,05 M e aos outros ensaios 2,5 mL de água destilada.

As placas de petri já semeadas foram colocadas em bandejas e estas cobertas com filme de PVC, para manutenção da umidade. As bandejas incubadas em câmara climática (BOD) durante 120 horas a 22°C, na ausência de luz.

Após esse período, as sementes germinadas e as plântulas retiradas, lavadas e colocadas em placas de Petri foram congeladas, interrompendo o crescimento e facilitando o manuseio das mesmas para medição.

Todas as sementes que apresentavam, no mínimo, uma protrusão da radícula foi considerada germinada, e contagem será feita em intervalos de 24 horas, sendo as sementes germinadas removidas após a contagem.

4.2. Organismos teste

Para o preparo da suspensão foi utilizado tabletes de fermento biológico da Fleishmann Royal. Um tablete de 15 g produziu 150 mL suspensão (leveduras lavadas + água destilada). Primeiramente, o tablete foi dissolvido em béquer com água destilada e separado em tubos de ensaio para ir à centrífuga. O preparado foi centrifugado por 5 min com velocidade de 6000 rpm e depois o precipitado formado no fundo foi redissolvido em água destilada e passado de novo pela centrífuga. Esse processo foi repetido pelo menos mais três vezes até que a água da lavagem saísse limpa, o que significou que foram retiradas todas as impurezas contidas no tablete como nutrientes e leveduras mortas. O precipitado final foi dissolvido em água até completar o volume de 150 mL, com concentração final de $1,2 \times 10^{9}$ células cm^{-3} e guardado em refrigeração, essa suspensão permaneceu em condições de uso por até um mês após seu preparo.

4.3. Sistema eletrolítico

O aumento da complexidade e dificuldade do tratamento dos efluentes têxteis tem levado a uma busca por outras metodologias que possam ser usadas para tratar os resíduos, estando associada a medidas que diminuem o efluente gerado. Os experimentos foram realizados utilizando-se um sistema eletrolítico contendo: reator eletrolítico, rotâmetro, reservatório de PVC, válvulas, bomba hidráulica e tubulação, alocados em um suporte metálico de sustentação.

O reator eletrolítico em si é composto por um anodo retangular de titânio recoberto por 70%TiO_2/30%RuO_2 e um catodo retangular de aço-inoxidável dispostos a uma distância de 3 mm. É empregada a fonte elétrica de corrente contínua marca Instrutherm FA2030 para polarização dos eletrodos.

O efluente a ser tratado é colocado no reservatório do sistema, de onde impulsionado pela bomba d'água para o sistema passando pelo reator e lâmpada UVC, conforme a Figura 03.

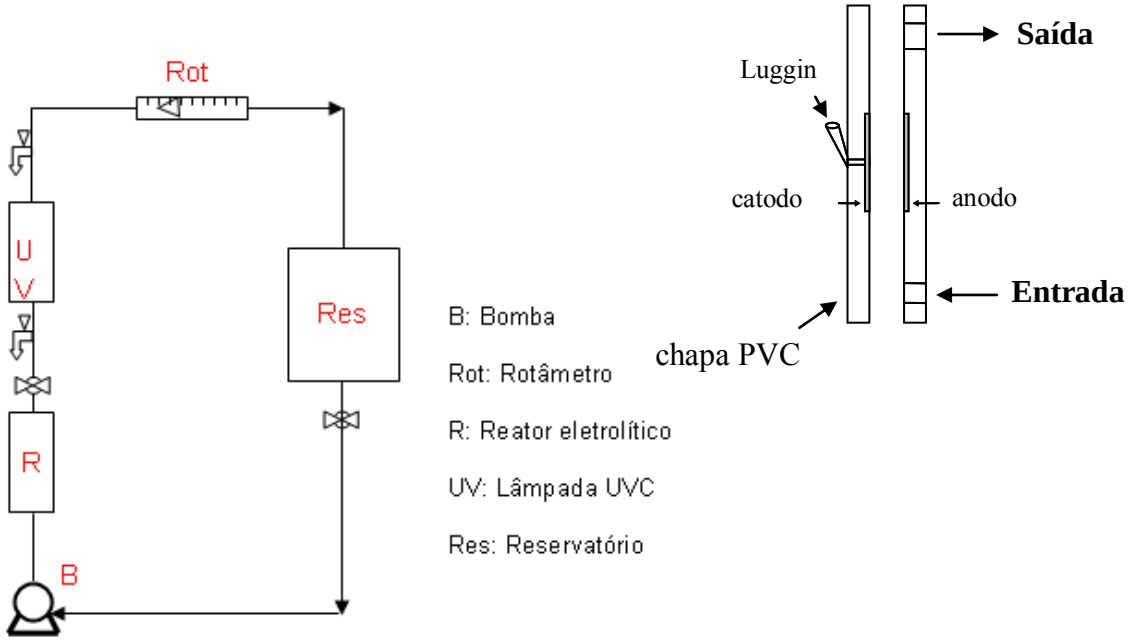


Figura 03: Sistema eletrolítico.

O Sistema realiza a eletrólise indireta dos compostos orgânicos dentro da solução por um agente oxidante (DENG & ENGLEHARDT, 2007, p. 234), nesse caso o cloreto de sódio em diferentes concentrações que leva a produção de cloro, forte agente oxidante. Isso proporciona a quebra ou modificação das moléculas do corante, retirando assim a cor do efluente, mas não necessariamente degradando a molécula por inteiro, pois esta pode continuar no efluente na forma de subprodutos da degradação (SAUER et

al., 2002, p. 148). Após o tratamento o efluente será agitado, para que o cloro presente na solução diminua sua concentração, sendo usado o-toluidina para medir a concentração de cloro.

4.4. Reagentes e equipamentos

Os reagentes e equipamentos utilizados estão descritos abaixo:

Água destilada: cloreto de sódio (Merck- PA); carbonato de sódio (Merck- PA); sulfato de sódio (Merck- PA); hidrogeno fosfato de potássio (Merck- PA); sulfato de amônio (Merck- PA); corante Acid red 151 ($C_{22}H_{15}N_4O_4S^-Na$) produzido pela Aldrich Chemical Company, Inc; espectrofotômetro Shimadzu UV-2401PC; peagâmetro Digimed DMPH-2; condutivímetro Tecnopom CA 150; agitador mecânico Fisaton 752; incubadora de demanda biológica de oxigenio (DBO) Marconi MA-403; balanças semi-analítica ShimadzuBL3200H e analítica Adan ADA:210:L; microscópio Bel B4; câmara de Neubauer; espectrofotômetro Hach DR2000- Odissey e centrífuga MLW K24.

4.5. Preparo do efluente

A solução foi preparada e depois aquecida para que o corante dissolve-se totalmente, antes do tratamento eletrolítico do efluente. As soluções foram preparadas usando um balão de 1L no qual foram adicionados os eletrólitos e estes foram diluídos em água destilada, após isso o conteúdo do balão foi transferido para um béquer de 4 L e o volume restante foi completado também com água destilada.

A solução preparada no béquer de 4 L foi agitada, e após ser homogeneizada uma pequena quantidade (o branco) foi retirada para a espectrofotometria. O corante em pó foi pesado 0,8 g e adicionado ao béquer de 4 L. Neste momento o pH da solução se situava em torno de 10,5, mas segundo Sauer (2002, p. 148) o reator eletrolítico utilizado ($70\%TiO_2/30\%RuO_2$) apresenta melhor performance quando o pH se encontra ácido (sendo que o potencial de carga zero, se encontra no pH 6,8). Assim, adicionou-se ácido sulfúrico 2 M na solução para acidificá-la até o pH desejado. A partir deste momento a solução foi chamada de efluente simulado (Tabela 1).

Tabela 1- efluentes simulados preparados e condições experimentais

Experimento	**Eletrólitos no efluente**	**Corrente utilizada no tratamento**	**pH inicial**
1	NaCl (40g) Na_2CO_3 (5,28g)	5 A	3,8
2	NaCl (40g) Na_2CO_3 (5,28g)	3 A	3,79
3	NaCl (30g) Na_2CO_3 (5,28g)	3 A	3,58

4.6. Tratamento eletrolítico e retirada das amostras durante o processo e verificação da absorbância e concentração

Nos tratamentos as soluções após serem colocadas no sistema eletrolítico (Figura 3) em fluxo aplicando-se uma corrente. Foram retiradas amostras em tempos pré determinados para as análises. Os tempos foram de 3 (T3), 5 (T5), 15 (T15) e 30 (T30) minutos. Também foi retirada a amostra de 0 min (controle).

Tais amostras foram condicionadas em recipientes de vidro escuro, tampadas para análises, e depois armazenadas para análises futuras. Foram mensurados pH, condutividade, absorbância e concentração de cada amostra no dia em que são tratadas, e depois de 15 dias para verificação de alterações. A relação entre absorbância e concentração foi obtida através de reta padrão, onde foram preparadas soluções com o corante em diversas concentrações (200 ppm, 175 ppm, 150 ppm, 125 ppm, 100 ppm e 50 ppm) e após traçar a reta correspondente a estas absorbâncias obteve-se a equação desta (R = 0,9911), descrita abaixo como a equação 1.

$$\text{Concentração ppm} = \frac{\text{absorbância} - 0{,}17063}{0{,}1157} \qquad \text{(equação 1)}$$

4.7. Medidas de pH e condutividade

As medidas das amostras foram feitas na hora em que eram retiradas do reator eletrolítico e 15 dias depois para averiguação de alterações. As amostras não passaram por diluição. Para a medida do pH foi utilizado o aparelho Digimed DMPH-2. Para as

medidas de condutividade foi utilizado o condutivímetro da Tecnopom, modelo CA 150.

4.8.Ensaios de toxicidade com *S. cerevisiae*

4.8.1. Preparo da suspensão de S. cerevisiae

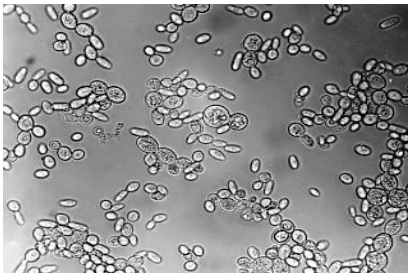
Para o preparo da suspensão foi utilizado tabletes de fermento biológico da Fleishmann Royal. Um tablete de 15 g produziu 150 mL suspensão (leveduras lavadas + água destilada). Primeiramente, o tablete foi dissolvido em béquer com água destilada e separado em tubos de ensaio para ir à centrífuga. O preparado foi centrifugado por 5 min com velocidade de 6000 rpm e depois o precipitado formado no fundo foi redissolvido em água destilada e passado de novo pela centrífuga. Esse processo foi repetido pelo menos mais três vezes até que a água da lavagem saísse limpa, o que significou que foram retiradas todas as impurezas contidas no tablete como nutrientes e leveduras mortas. O precipitado final foi dissolvido em água até completar o volume de 150 mL, com concentração final de 1,2 x 10^9 células cm^{-3} e guardado em refrigeração, essa suspensão permaneceu em condições de uso por até um mês após seu preparo. Deve-se ressaltar que antes do uso foi necessário manter a suspensão sob agitação, para que a biomassa de *S. cerevisiae* não decantasse e assim um número próximo de células fosse obtido em cada alíquota utilizada nos experimentos.

4.8.2. Preparo dos tubos de ensaio

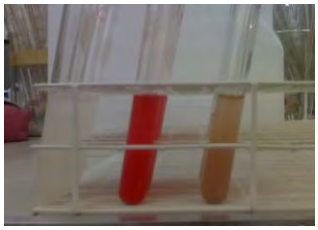
Os testes de toxicidade foram realizados no dia em que a solução foi tratada e 15 dias depois para a verificação de alterações devido à estabilização da suspensão fotoeletrolisada. Foram preparados tubos de ensaios contendo 9 ml da solução obtida no sistema fotoeletrolítico e um tubo controle contendo água destilada. Nesses tubos foi adicionado 1 mL de suspensão contendo o organismo teste que é o *S. cerevisiae*, com concentração de 1,2 x 10^9 células cm^{-3}, que foi colocado depois da solução fotoeletrolisada e agitado por aproximadamente 10 s. Esses tubos de ensaios contendo solução e organismos teste permaneceram tampados por 3 dias e colocados na incubadora a temperatura constante de 28ºC. Foram utilizados 3 tubos por cada solução fotoeletrolisada obtida em cada tempo de experimento e mais 3 tubos de controle, ou seja, apenas leveduras e água destilada. Os tubos de ensaios em triplicata foram necessários para minimizar flutuações de resultado do ensaio toxicológico e se aplicar, posteriormente, cálculos estatísticos.

4.8.3. Contagem de células de S. cerevisiae

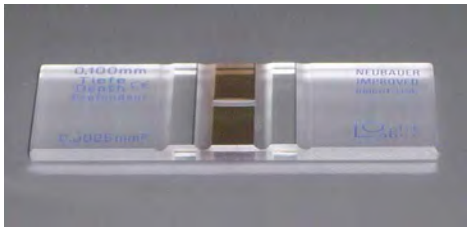
Passado o período de incubação de 3 dias cada tubo com a suspensão de *S. cerevisiae* foi agitado e dele retirado 0,5 mL o qual foi adicionado a 0,5 mL de eritrosina, um corante vermelho que indica se as células estão mortas, ou seja, as células coradas de vermelho não conseguem expulsar a eritrosina e, portanto, estão mortas. As vivas permanecem com cor original (amarelo translúcido, como o observado na Figura 9-a). A suspensão resultante da mistura da *S. cerevisiae* com a eritrosina foi colocada com auxílio de uma pipeta de Pasteur na câmara de Neubauer. Logo, foram feitas as contagens de células na câmara de Neubauer (Figura 9-c). A amostra mínima é de 200 células para contagem na câmara de Neubauer de forma a poder realizar os cálculos estatísticos (SUSSMAN, 1974, p. 58). Nos testes foram contadas uma média de 800 células por tubo e realizados os cálculos da porcentagem de células mortas em cada tempo de tratamento.



(a)



(b)



(c)

Figura 4: Fotos da esquerda para a direita, (a) células de *Saccharomyces cerevisiae* vista ao microscópio ótico, (b) suspensão de células de *S. cerevisiae*, sem corante acid red 151 e com corante acid red 151 e (c) câmara de Neubauer.

4.9. Leitura dos resultados no espectrofotômetro Hach

Após alcançar a temperatura ambiente, os tubos foram lidos pelo espectrofotômetro da Hach Odyssey. Parar zerar o equipamento foram usados tubos

contendo o “branco” (solução com os sais e sem corante), e também tubos contendo apenas água.

Primeiro realizou-se a leitura de todos os tubos de amostras com o espectrofotômetro zerado com o branco, e depois com os tubos de água. Foram calculadas as médias de cada resultado e multiplicadas por 5 (devido a diluição da amostra utilizada para a preparação dos ensaios).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Remoção de cor

5.1.1. Tratamento 1 do efluente com corrente de 5,00 A

Em tal tratamento a remoção de cor foi de vermelho para incolor, pois os grupos cromóforos foram transformados, mas a molécula do corante permanece na solução com a estrutura química modificada, ou seja, apenas absorvendo na região do ultravioleta. No experimento a corrente utilizada no sistema eletrolítico foi de 5,00 A, aumentando a velocidade de degradação do corante. Nos resultados dos espectros de absorbância verificou-se que a degradação no dia e após 15 dias possuem valores próximos, mostrando que a degradação do corante não foi continua (Figuras 5 e 6).

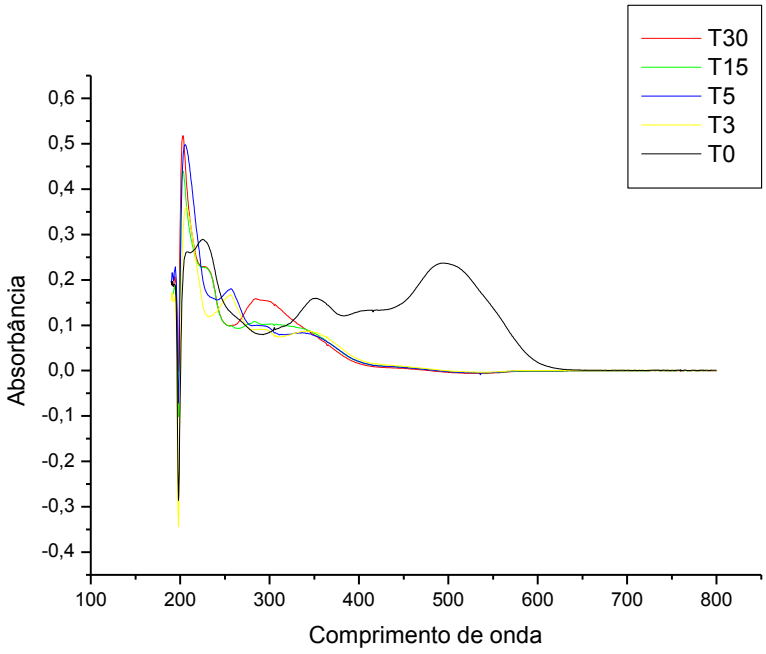


Figura 5- Espectro de absorção no dia do tratamento.

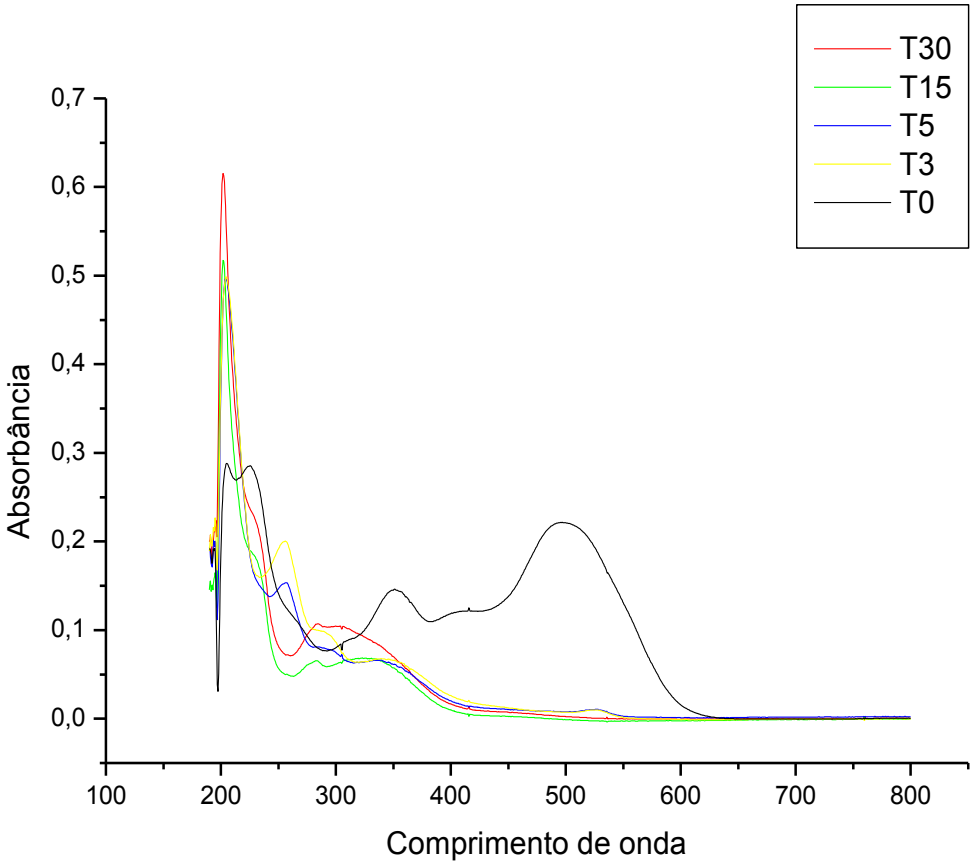


Figura 6- Espectro de absorção do tratamento após 15 dias.

Tabela 2- Concentrações do efluente contendo o corante Acid Red 151

Tempo de tratamento (minutos)	**Concentração (ppm) No dia**	**Concentração (ppm) 15 dias após**
0	87,0	80,8
3	0	0
5	0	0
15	0	0
30	0	0

O valor da concentração zero a partir do tempo de 5 minutos, na Tabela 2, significa que a molécula foi modificada, ou seja, os grupos cromóforos foram alterados e a molécula passou a absorver apenas no ultravioleta. A concentração da molécula permanece na solução já apenas a estrutura foi alterada.

5.1.2. Tratamento 2 do efluente com corrente de 3,00 A

No tratamento 2 a remoção de cor foi satisfatória como no tratamento 1. Porém, a corrente utilizada no sistema eletrolítico foi de 3,00 A, ou seja, utilizou-se menor quantidade de energia para a degradação do corante com relação ao tratamento 1. A corrente maior degradou o corante Acid Red 151 mais rapidamente, mas após 15 dias não existiu diferença em degradação com uma corrente de 5,00 A ou de 3,00 A. Nos resultados dos espectros de absorbância verificou-se que a degradação após 15 dias é maior do que no dia do tratamento (Figuras 7 e 8). A remoção da cor é maior após 15 dias quando o efluente fica em repouso, pois a degradação dos grupos cromóforos continuou ocorrendo (Figuras 7, 8 e 9).

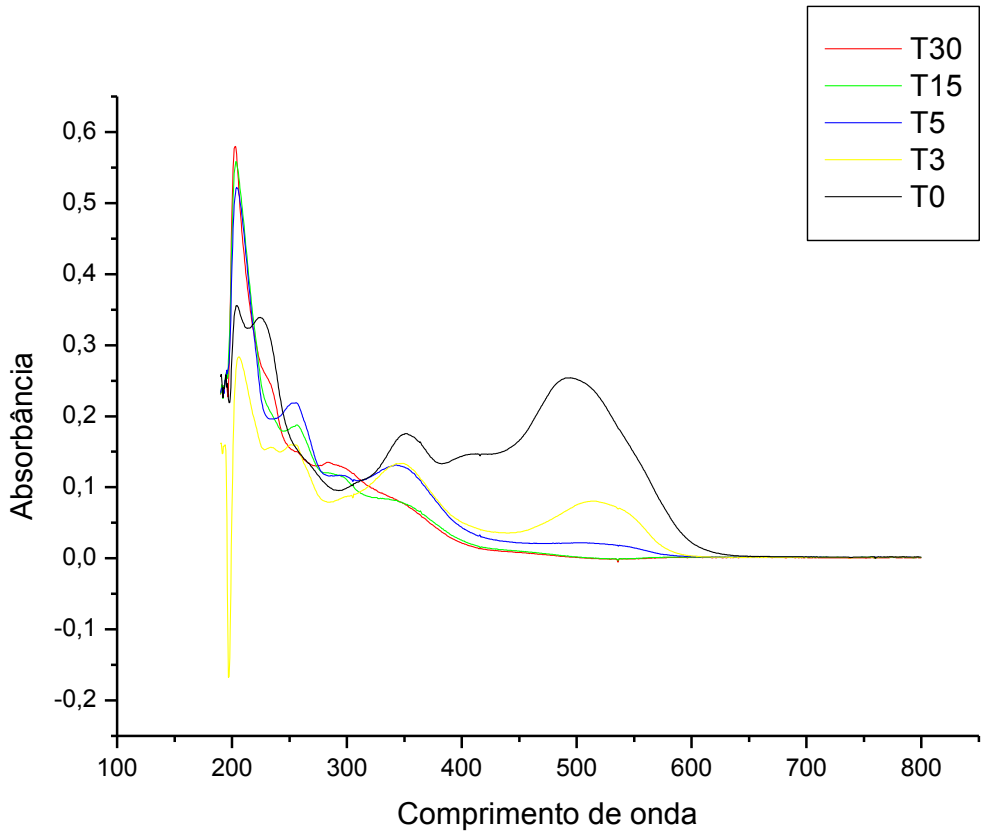


Figura 7- Espectros de absorção no dia do tratamento.

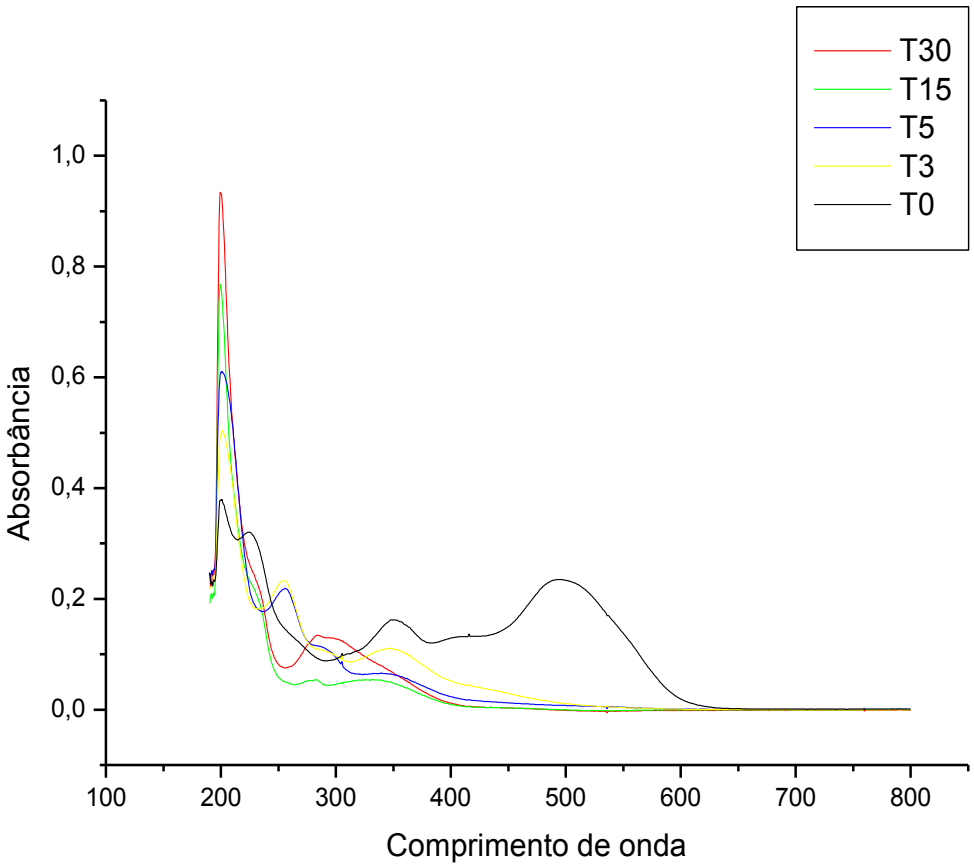


Figura 8- Espectros de absorção após 15 dias do tratamento.

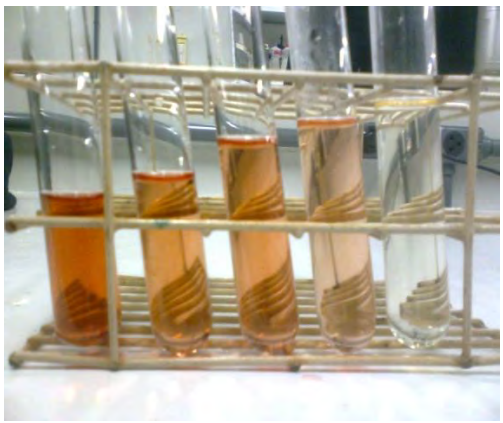


Figura 9 – Efluente contendo corante Acid Red 151 no dia do tratamento nos diferentes tempos de tratamento em minutos (t0,t3,t5,t15 e t30).

Na Tabela 3 pode ser observado as concentrações de corante Acid Red 151 antes e após 15 dias.

Tabela 3- Concentrações do efluente contendo corante Acid Red 151

Tempo de tratamento (minutos)	**Concentração (ppm) No dia**	**Concentração (ppm) 15 dias após**
0	94,7	89,1
3	13,6	0
5	0	0
15	0	0
30	0	0

O valor da concentração zero a partir do tempo de 5 minutos, na Tabela 3, significou que a molécula foi modificada, ou seja, os grupos cromóforos foram alterados e a molécula passou a absorver apenas no ultravioleta. A concentração da molécula permanece na solução já que apenas a estrutura foi alterada.

5.1.3. Tratamento 3 com corrente de 3,00 A e diminuição da quantidade de cloreto de sódio

No tratamento 3 a remoção de cor não foi satisfatória, pois no tempo maximo de tratamento (t30) no dia do tratamento, ficou com coloração amarelada. A corrente utilizada no sistema eletrolítico foi de 3,00 A e a concentração de cloreto de sódio foi menor que dos outros tratamentos 1 e 2. A concentração utilizada foi de 7,5 g/L, enquanto nos outros experimentos foi de 10,0 g/L. O cloreto presente foi oxidado para cloro/hipoclorito, sendo responsáveis pelo aumento da descoloração do efluente pelo sistema eletrolítico, ou seja, a diminuição da concentração de cloreto de sódio deixou o tratamento menos eficaz na remoção de cor. Nos resultados dos espectros de absorbância verificou-se que a degradação após 15 dias foi maior do que no dia do tratamento, mostrando que a degradação dos grupos cromóforos foi contínua (Figuras 10, 11 e Tabela 4).

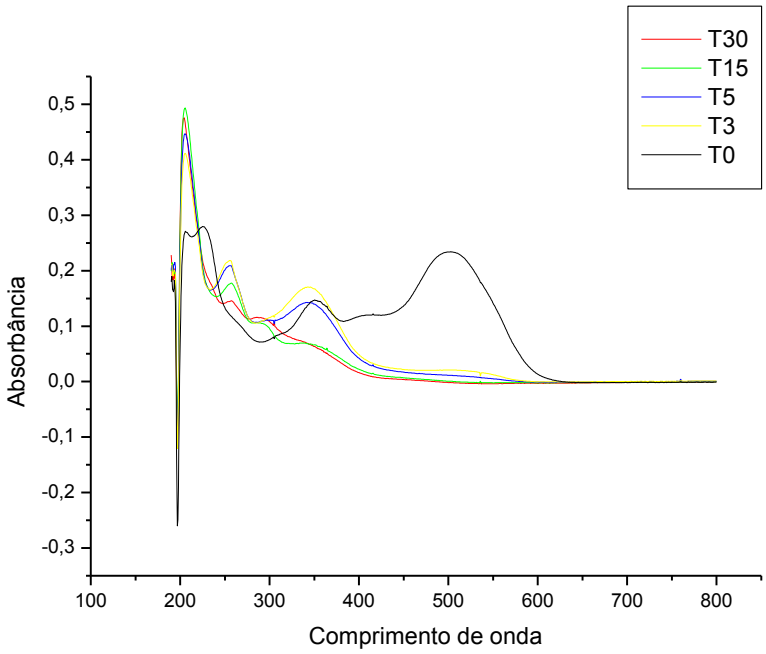


Figura 10- Espectro de absorção do tratamento no dia.

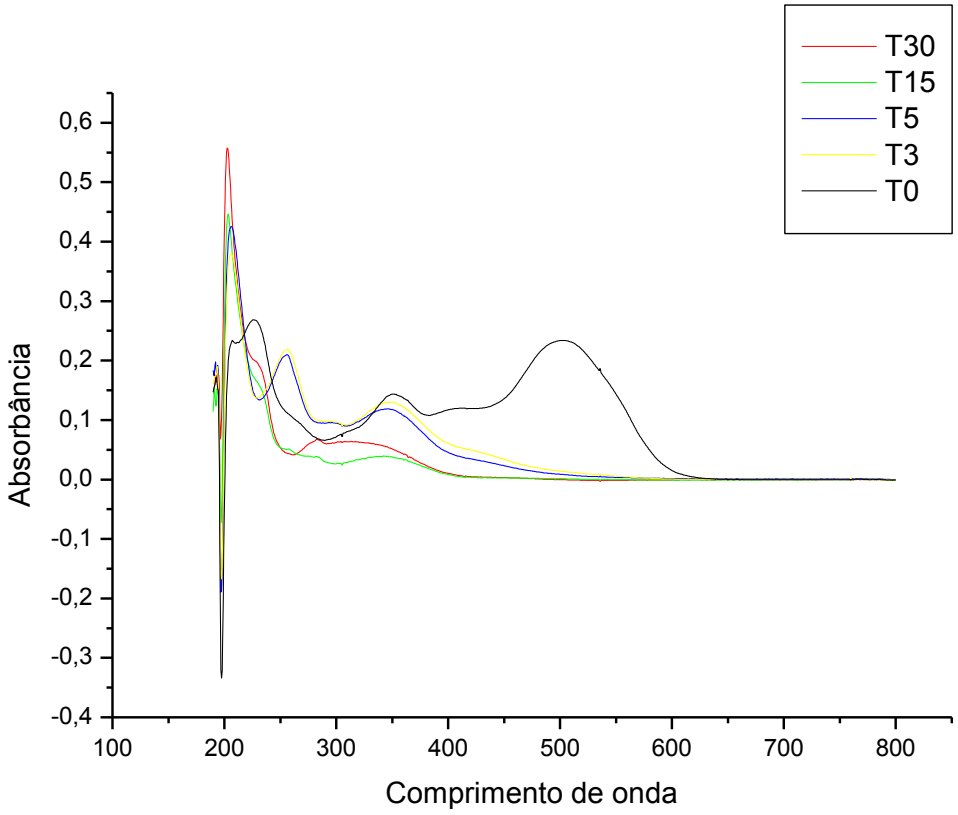


Figura 11- Espectro do tratamento após 15 dias.

Tabela 4- Concentrações do efluente nos diferentes tempos de tratamento (t0,t3,t5,t15 e t30)

Tempo de tratamento (minutos)	**Concentração (ppm) No dia**	**Concentração (ppm) 15 dias após**
0	89,70354	89,22818
3	0	0
5	0	0
15	0	0
30	0	0

O valor da concentração zero a partir do tempo de 3 minutos significa que a molécula foi modificada, ou seja, os grupos cromóforos foram alterados e a molécula passou a absorver apenas no ultravioleta. A concentração da molécula permanece na solução já apenas a estrutura foi alterada.

Na remoção da cor do corante Acid Red 151 o tratamento eletrolítico mostrou-se eficiente e o qual após 15 dias mostrou-se com uma cor clara em 5 minutos de tratamento (Figura 12). Diminuindo assim um dos grandes impactos que estes corantes possuem no ecossistema, por sua cor interferir na quantidade de luz na água, causando modificações nos processos fotossintéticos dos corpos d'água que estão recebendo o efluente. O tratamento 2 foi o que apresentou melhor resultado na remoção de cor, utilizando uma corrente de 3 A e concentração de 10 g/L de cloreto de sódio.

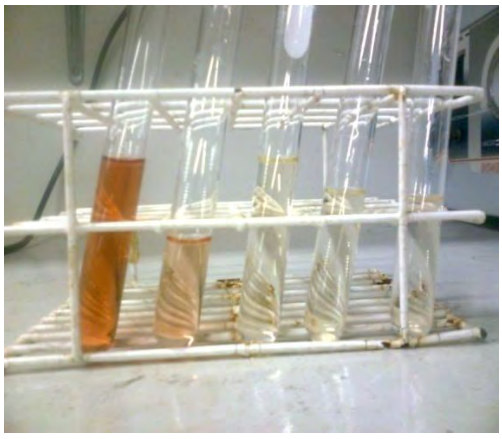


Figura 12 – Efluente contendo corante Acid Red 151 depois de 15 dias do tratamento

5.2. Condutividade e pH

5.2.1. Tratamento 1 do efluente com corrente de 5,00 A

O pH após 15 dias em repouso chega a um valor próximo do neutro, levando a uma equalização do efluente. Devido a uma corrente maior, observa-se uma maior variação do pH, entre o efluente tratado no dia e após 15 dias (Figura 13).

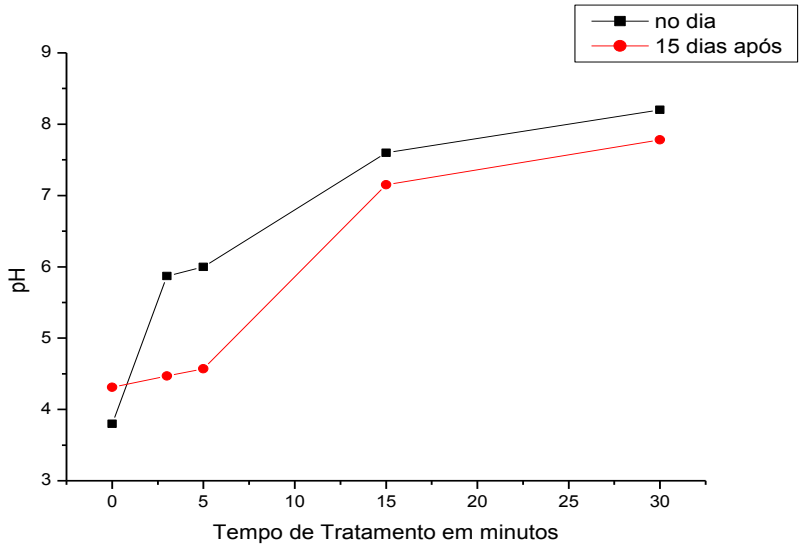


Figura 13- Variação de pH no experimento 1.

A condutividade de 12,35 mS cm^{-1} alterou para 12,44 mS cm^{-1} no dia do tratamento e para 10,16 mS cm^{-1} após 15 dias de repouso (Figura 14).

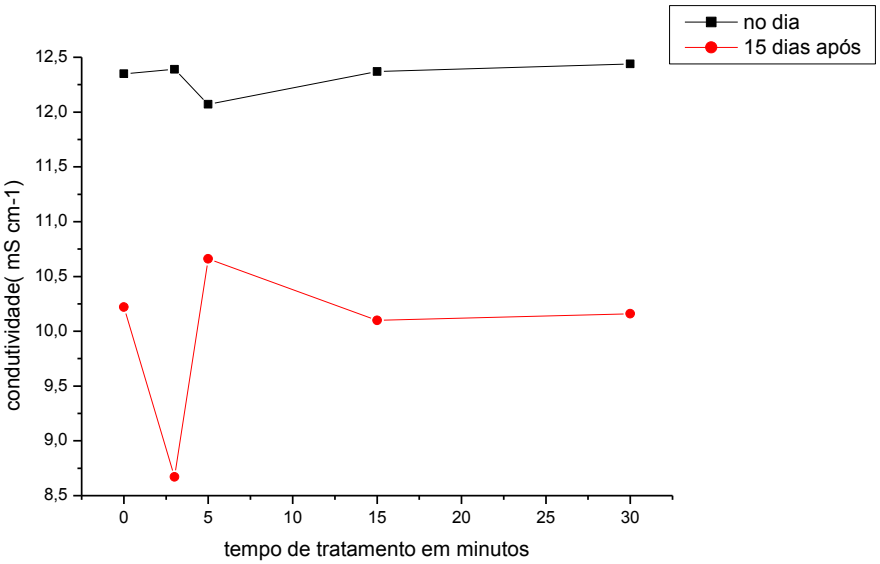


Figura 14- variação da condutividade do experimento 1.

5.2.2. Tratamento 2 do efluente com corrente de 3,00 A

O pH após 15 dias em repouso chega a um valor próximo do neutro, levando a uma equalização do efluente (Figura 15).

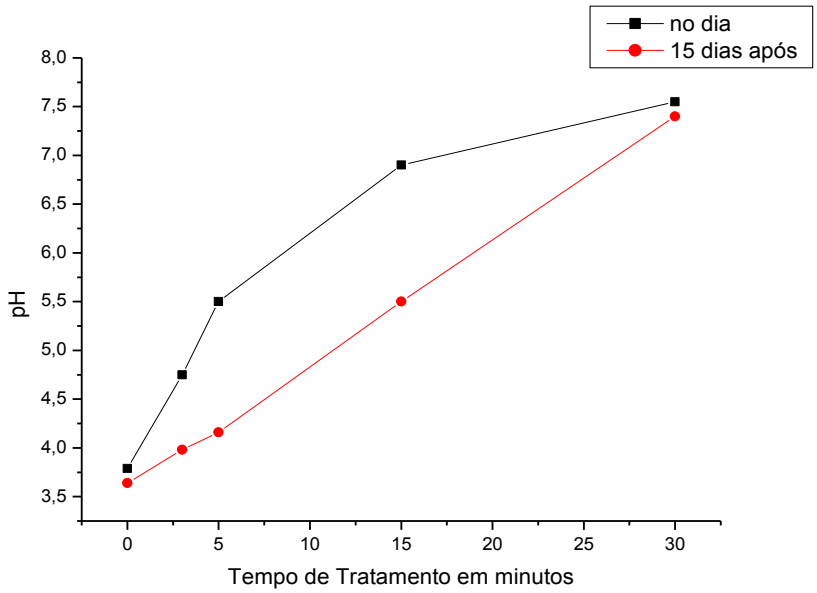


Figura 15- Variação do pH no experimento 2.

A condutividade de 12,05 mS cm^{-1} alterou para 13,15 mS cm^{-1} no dia do tratamento e para 11,3 mS cm^{-1} após 15 dias de repouso (Figura 16).

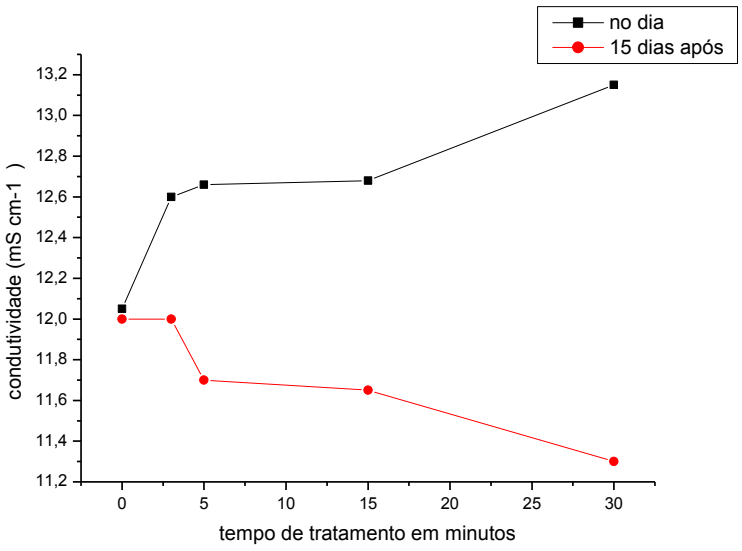


Figura 16- Variação da condutividade do experimento 2.

5.2.3. Tratamento 3 com corrente de 3,00 A e diminuição da quantidade de cloreto de sodio

O pH após 15 dias em repouso chega a um valor próximo do neutro, levando a uma equalização do efluente (Figura 17).

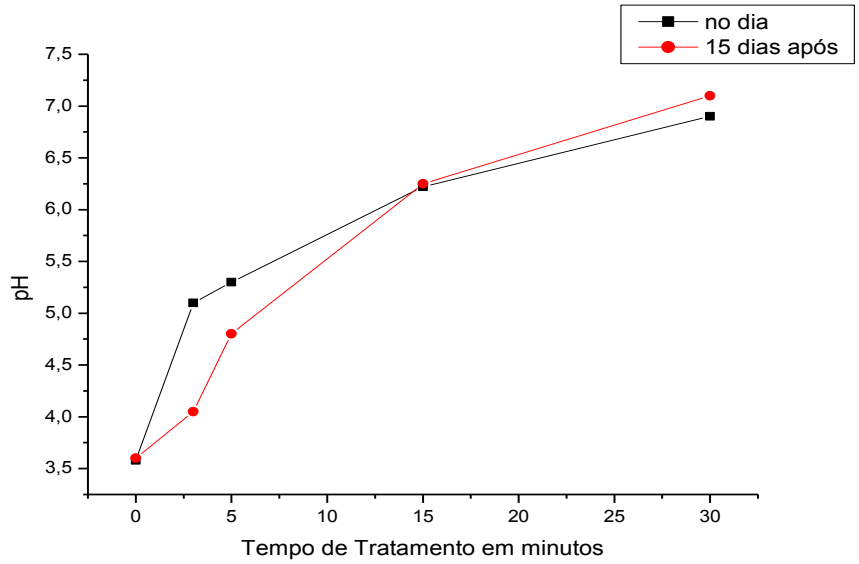


Figura 17- Variação do pH no experimento 3.

A condutividade de 9,56 mS cm^{-1} alterou para 9,55 mS cm^{-1} no dia do tratamento e para 8,6 mS cm^{-1} após 15 dias de repouso (Figura 18).

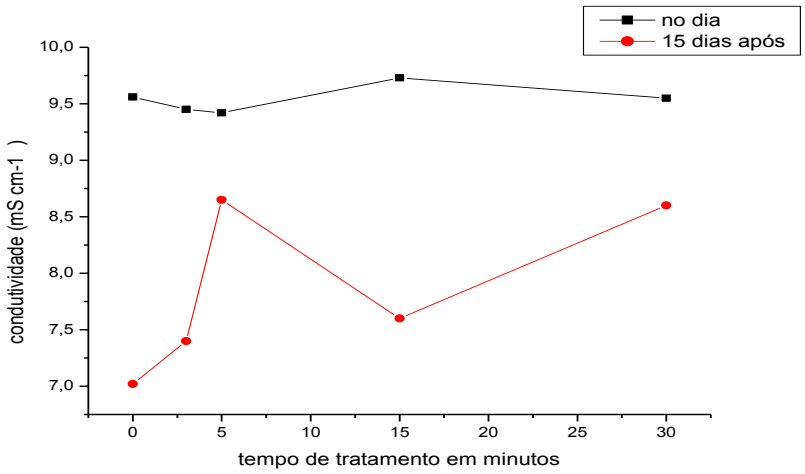


Figura 18- variação da condutividade no experimento 3.

O pH inicial de 3,79 do tratamento 2 passou para 7,4 após 15 dias do tratamento chegando perto de um valor neutro e ideal para os efluentes tratados que serão descartados. Também, melhorou a condutividade, pois esta diminuiu em todos os experimentos após 15 dias.

5.3. Ensaios de toxicidade com *S. cerevisiae*

5.3.1. Tratamento 1 do efluente com corrente de 5,00 A

Foram realizados testes usando *S. cerevisiae* como organismo teste. O teste de toxidade mostra uma alta mortalidade de *S. cerevisiae* em 5 minutos no dia do tratamento, porém após 15 dias esse numero cai drasticamente evidenciando que o cloro gerado durante o tratamento foi o grande responsável pela alta mortalidade da levedura, já que após 15 dias grande parte do cloro foi evaporado. A alta mortalidade pode ser também devido a uma grande corrente aplicada (5,00A), liberando maior quantidade de cloro no efluente. No tempo de 30 minutos de tratamento a mortalidade é de 100%, mostrando que o efluente torna-se altamente tóxico com tempo maior de tratamento (Figura 19).

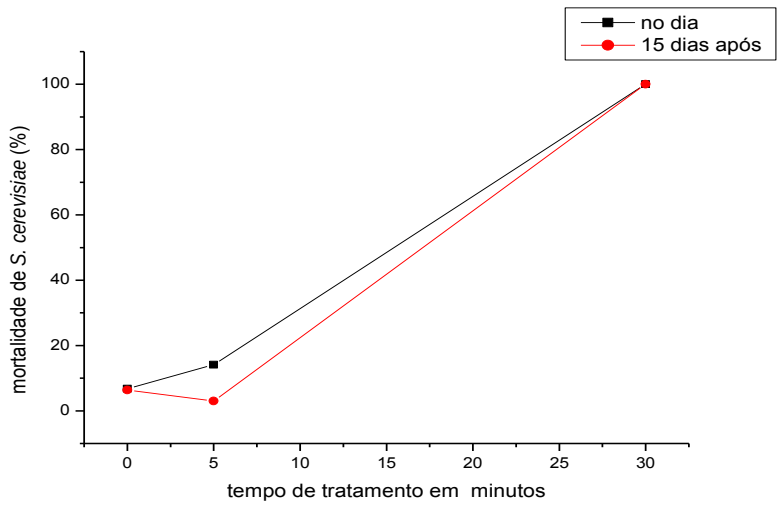


Figura 19 - Mortalidade de *S. cerevisiae* no dia do tratamento e 15 dias após o tratamento.

5.3.2. Tratamento 2 do efluente com corrente de 3,00 A

Os testes de toxidade no experimento 2 no tempo de 5 minutos foram menores no dia devido a uma menor corrente (3,00 A) aplicada no tratamento, comparado ao experimento 1. Após 15 dias a toxidade abaixou um pouco (3,10%) e

ficou um pouco maior do que a do tratamento 1 (3%). O tratamento com 30 minutos mostrou-se altamente toxico, alcançando uma mortalidade de 100% (Figura 20).

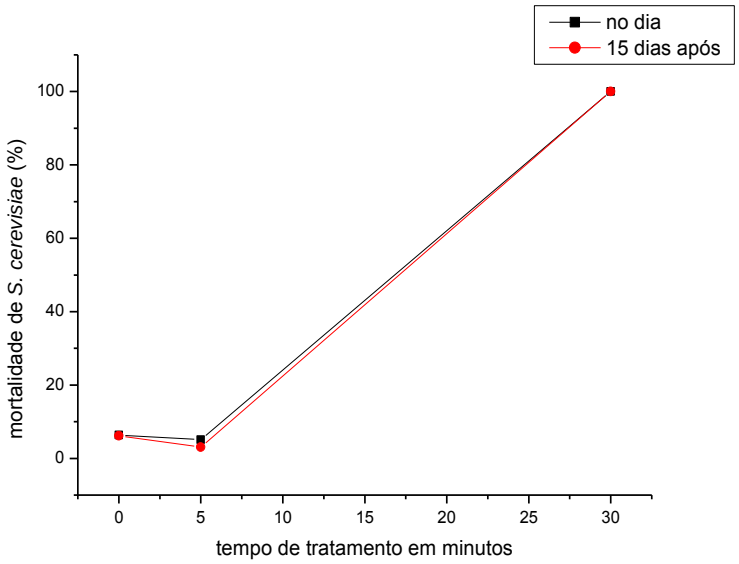


Figura 20 - Mortalidade de *S. cerevisiae* no dia e 15 dias após o tratamento.

5.3.3. Tratamento 3 com corrente de 3,00 A e diminuição da quantidade de cloreto de sódio

Os testes de toxidade mostraram-se valores menores, com o tempo de 5 minutos no dia com valor de 5,30% e 15 dias após o tratamento com valor de 2,76%. No tempo de 30 minutos a mortalidade novamente chegou a 100% (Figura 21).

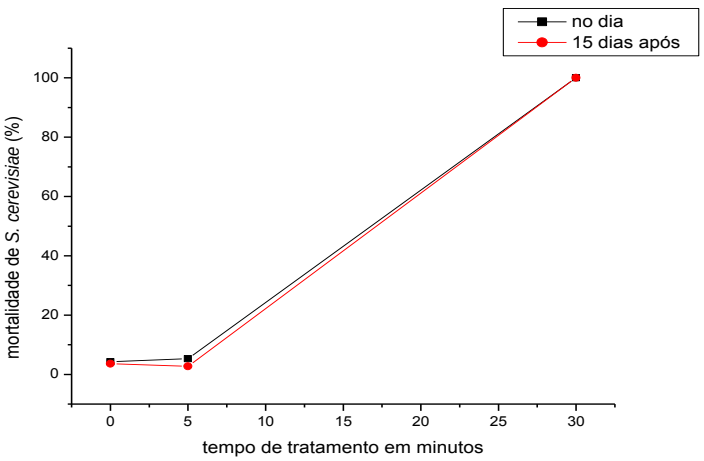


Figura 21- Mortalidade de *S. cerevisiae* no dia e 15 dias após o tratamento.

Nos testes com *S. cerevisiae* o tratamento diminuiu a toxidade do corante depois de 5 minutos de eletrólise e 15 dias de repouso do efluente no tratamento 2 com 3,10% de mortalidade, enquanto que o tratamento 1 com uma corrente maior alcançou uma mortalidade um pouco menor após 15 dias 3% (Figura 22). Porém, o tratamento quando ultrapassa 15 minutos passa a ter uma maior toxidade, chegando a 100% de mortalidade em todos os experimentos no tempo de 30 minutos.

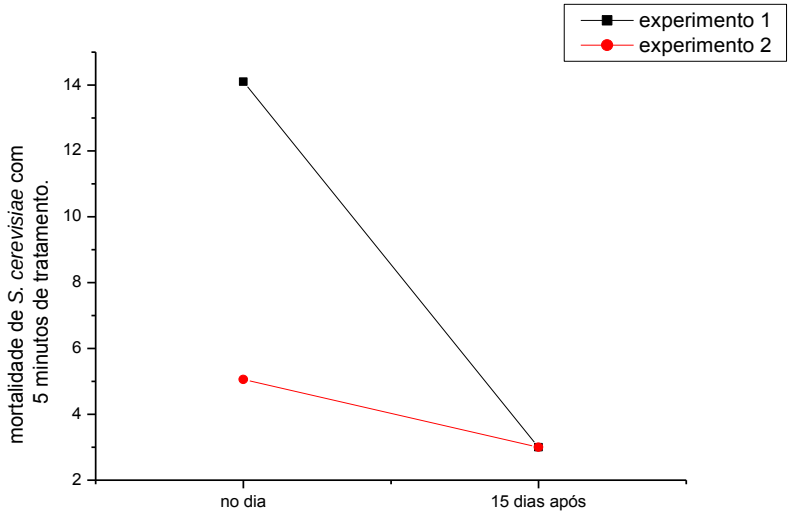


Figura 22- Mortalidade de *S. cerevisiae* em diferentes experimentos.

O tratamento 3 mostrou-se o menos eficiente por não conseguir remover a cor, em conseqüência de uma menor quantidade de cloreto de sódio, não modificando todos os grupos cromóforos da molécula do corante.

Assim o tratamento 2 com corrente de 3,00A e concentração de 10g/L é o melhor tratamento de efluente com sistema eletrolítico comparado aos demais realizados, por utilizar menor quantidade de energia em relação ao tratamento 1, porém sendo eficaz na remoção da cor e na baixa toxidade de *S. cerevisiae.*

5.4. Ensaio Ecotoxicológico

Os testes de germinação (Figura 23) foram feitos quando se tinha o conhecimento acerca de qual dos três tratamentos feitos era o mais apropriado, por remover a cor e apresentar uma baixa toxidade de *S. cerevisiae.* Assim como será visto na discussão, o tratamento 2 é o mais adequado.

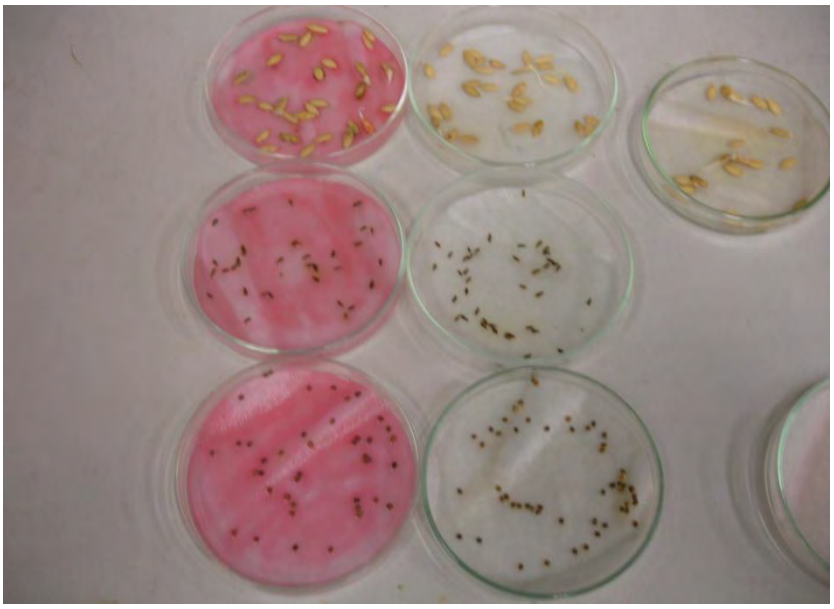


Figura 23- Ensaio de ecotoxicidade com as sementes de rúcula, alface e pepino.

Os resultados do teste de germinação com o efluente simulado e sem tratamento utilizando sementes de rúcula (*Eruca sativa*), alface (*Lactuca sativa)* e pepino (*Cucumis sativus L.)* estão na Tabela 5.

Tabela 5- Porcentagem de germinação de rúcula (*Eruca sativa*), alface (*Lactuca sativa)* e pepino (*Cucumis sativus L.)*

Tempo de tratamento Do Efluente	Rúcula (*Eruca sativa*)	Alface (*Lactuca sativa)*	Pepino (*Cucumis sativus L.)*
T0	26%	58%	63%
T3	16%	20%	86%
T5	10%	28%	64%
T15	22%	44%	73%
T30	20%	32%	33%
Controle positivo	61%	77%	89%
Controle negativo (ZnSO4)	10%	32%	39%

No teste de germinação das sementes de rúcula (*Eruca sativa*), a germinação das sementes sem tratamento e nos diferentes tempos de tratamento do efluente foi afetada, sendo no tempo de 5 valor de 10% semelhante ao controle negativo com ($ZnSO_4$). Nos diferentes tempos (t0,t3,t15 e t30) o valor ficou maior do que o controle porém bem abaixo do controle positivo, sendo tal inibição da germinação conseqüência do efluente tratado ou não, pois o maior valor que encontra-se no tempo zero (26%) foi menor do que no controle positivo (61%) (Figura 24).

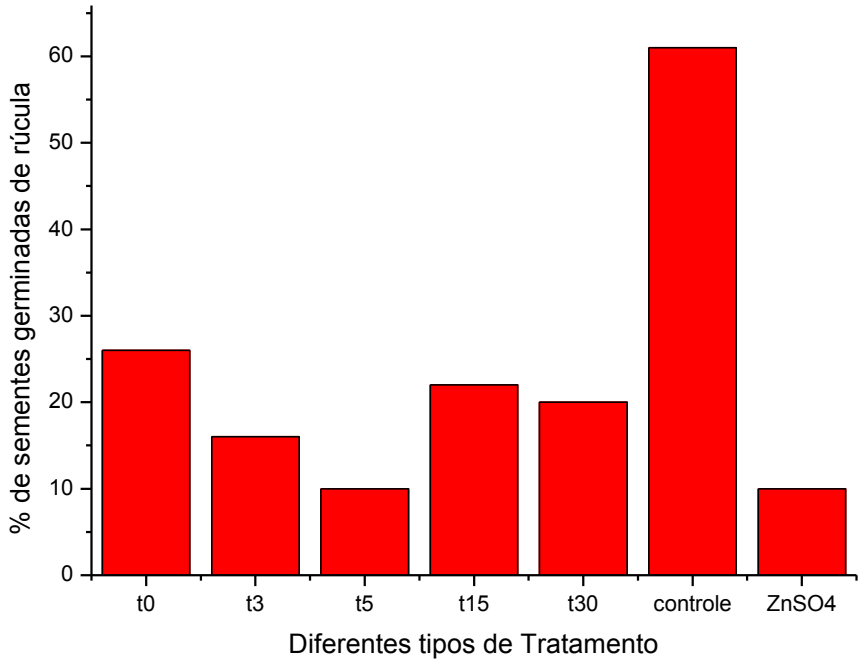


Figura 24- Porcentagem de germinação de sementes de rúcula (*Eruca sativa*), nos diferentes tempos de tratamento, no controle positivo e com $ZnSO_4$.

No teste de germinação das sementes de alface (*Lactuca sativa)*, o efluente sem tratamento foi o resultado que apresentou menor inibição devido ao corante (58%), enquanto que nos demais tempos de tratamento do efluente a porcentagem de germinação foi menor do que o controle negativo (32%), ou um pouco maior como no tempo de 15 minutos (44%). Assim o tratamento afetou a germinação das sementes de alface (Figura 25).

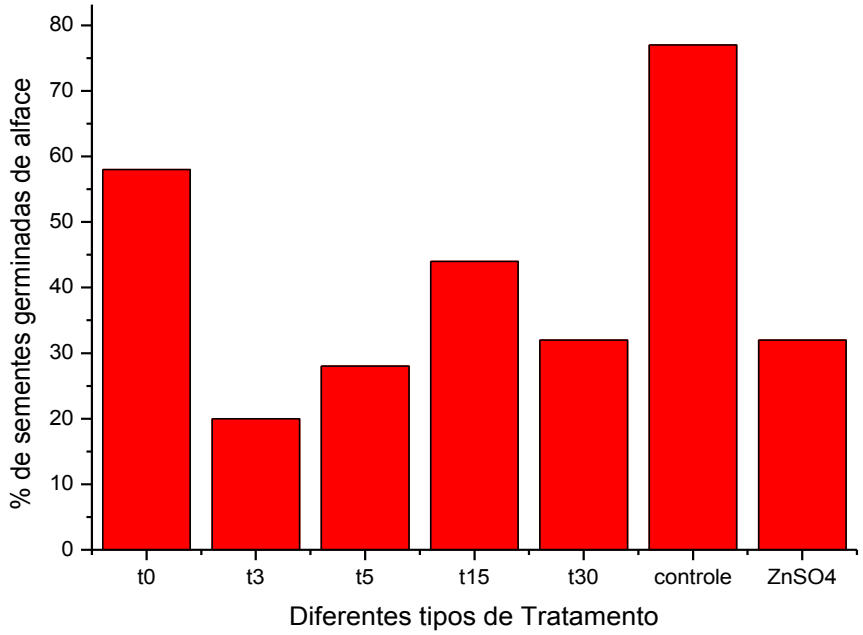


Figura 25- Porcentagem de germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa)*, nos diferentes tempos de tratamento, no controle positivo e com $ZnSO_4$.

- No teste de germinação com sementes de pepino (*Cucumis sativus L.)* ocorreu inibição da germinação das sementes no tempo de tratamento de 30 minutos (33%), enquanto que nos demais tempos a germinação ocorreu (Figura 26).

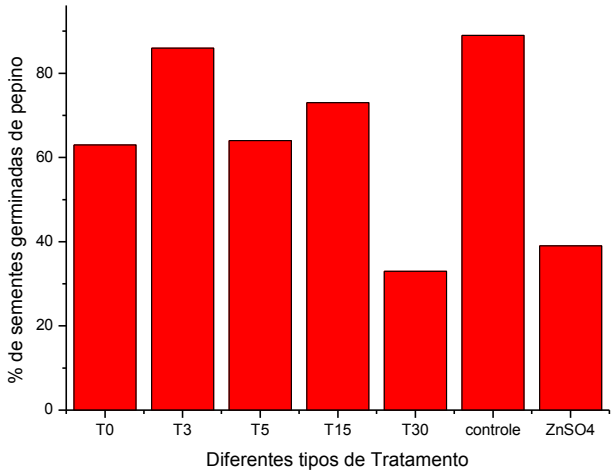


Figura 26- Porcentagem de germinação de sementes de pepino (*Cucumis sativus L.)*, nos diferentes tempos de tratamento, no controle positivo e com $ZnSO_4$.

6. CONCLUSÃO

O tratamento eletrolítico com corrente de 3,00 A e com concentração de cloreto de sódio com 10g/L, melhorou a qualidade do efluente contendo o corante Acid Red 151 por modificar as seguintes características:

- remoção da cor presente no efluente com o corante;
- diminuição da toxidade do efluente;
- alterou o pH do efluente para um valor mais neutro;
- melhorou a condutividade do efluente;
- o efluente afetou a germinação das sementes de rúcula (*Eruca sativa*), alface (*Lactuca sativa)* e pepino (*Cucumis sativus L.)* não podendo ser usado, por exemplo, em atividades agrícolas, sem antes passar por outro tipo de tratamento.

O tratamento eletrolítico pode ser utilizado como um pré–tratamento dos tratamentos biológicos usados pelas indústrias têxteis, diminuindo o custo do tratamento.

7. BIBLIOGRAFIA

ABREU, M. C. S.; RADOS, G. J. V.; JUNIOR H. S. F. As Pressões Ambientais da Estrutura da Indústria. *RAE-eletrônica*, v. 3, n. 2, Art. 17, jul./dez. 2004.

CATANHO, M.; MALPASS, G. R. P.; MOTHEO, A. J. Avaliação dos Tratamentos Eletroquímicos e Fotoeletroquímicos na Degradação de Corantes Têxteis. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 5, p. 983-989, 2006.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. *Química Nova***,** v. 23, n. 1, p. 71-79, 2000.

DENG, Y; ENGLEHARDT, J. D. Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment. *Waste Management*, Padova, v. 27, n. 3, p.380-388, 2007.

HARRIS, D. C. *Analise química quantitativa*. Tradução de C. A. S. Riehl. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

KUNZ, A., PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova***,** v.25, n. 1, p. 78-82, 2002.

MARTÍNEZ, Alier Juan; O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração; tradutor Mauricio Waldman- São Paulo- 2007.

SAUER, T.; CESCONETO NETO, G.; JOSÉ, H .J.; MOREIRA, R. F. P. M. Kinetics of photocatalytic degradation of reactive dyes in a TiO2 slurry reactor. *Journal of Photochemical Photobiology A: Chemical*, Amsterdan, v. 149, p. 147–154, 2002.

SOBRERO, M.C.; RONCO, A**.** Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (Lactuca sativa L). In: In: MORALES, G.C. EnsayosToxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Agua: estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. IMTA: Mexico. 2004, 142p.

SUSSMAN, ALFRED SHEPPARD, Microorganismos: Crescimento, Nutrição e Interação. São Paulo: EDART, p. 30-50,1974.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. Consultoria, supervisão e revisão técnica: M. H. Vainstein; A. Schrank. 6. ed. São Paulo: Artmed, 2005. 894 p.

ZAGGATO, 2006. Ecotoxicologia Aquática, Princípios e Aplicações. São Carlos: RiMa, p. 1-13, 2006.