



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)

**BIOSSORÇÃO DO CORANTE DR 23 POR *Saccharomyces cerevisiae*
IMOBILIZADA EM SERRAGEM DE PEROBA (*Aspidosperma polyneuron*)
TRATADA COM PEI (POLIETILENOIMINA)**

LUANA GALVÃO MORÃO

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada).

Abril - 2014

LUANA GALVÃO MORÃO

BIOSSORÇÃO DO CORANTE DR 23 POR *Saccharomyces cerevisiae* IMOBILIZADA EM SERRAGEM DE PEROBA (*Aspidosperma polyneuron*) TRATADA COM PEI (POLIETILENOIMINA)

Orientador: PROF. DR. CARLOS RENATO CORSO

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada)

Rio Claro – SP

Abril – 2014

620.112 Morão, Luana Galvão
M829b Biossorção do corante DR 23 por *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em serragem de peroba (*Aspidosperma polyneuron*) tratada com PEI (polietilenoimina) / Luana Galvão Morão. - Rio Claro, 2014
143 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Carlos Renato Corso

1. Ciência dos materiais. 2. Adsorção para remoção. 3. Corantes têxteis. 4. Imobilização de células. 5. Polietilenoimina. I. Título.

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

A Deus que me abençoou durante toda essa jornada;

À minha família que me deu todo apoio, carinho e compreensão;

Aos meus amigos, que me acompanharam nessa trajetória tão gratificante;

Por todos ensinamentos, companheirismo, estímulo, carinho e confiança.

AGRADECIMENTOS

Ao professor, orientador e amigo Carlos Renato Corso pelo incentivo, orientação, confiança e apoio durante todo o processo de desenvolvimento do trabalho, com seus diálogos, reflexões, estudos e pesquisas que me ajudaram a concluir este trabalho.

A CAPES pelo auxílio financeiro concedido durante a realização deste trabalho.

Ao técnico do Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Roberto José Pedro que sempre me ajudava com os equipamentos, materiais e montagem de experimentos.

Aos amigos de laboratório Paulo, Hengli, Raquel, Emi e Jaqueline por toda companhia, apoio e ajuda prestados durante todo o desenvolvimento dos meus experimentos, além da amizade.

Aos meus pais Silvana e Alencar que sempre estiveram muito presentes em minha vida, torceram e torcem por mim, pelas minhas realizações, sucesso e conquistas. Graças a eles me tornei essa pessoa determinada e madura.

Ao meu irmão e companheiro de casa Kauan que me apoiou nos momentos mais difíceis, provas, trabalhos, projetos, também festas e passatempos.

Aos meus amigos e amigas, Mônica Mine, Raquel Melo, Hengli Barbosa, Mariana Bortolin, Mirela Bastiani, Giordani que sempre serão lembrados de uma forma única e especial.

Agradeço a Deus por ter me feito essa mulher, bióloga e profissional que me tornei, sempre seguindo com determinação, ética e muita força para continuar e lutar pelos próximos desafios e objetivos.

“Vamos viver nossos sonhos, temos tão pouco tempo”.

(CBJ)

RESUMO

Atualmente com o crescente desenvolvimento do setor industrial, o problema da poluição ambiental tem sido de caráter mundial. O meio ambiente vem sofrendo degradação demasiada causada, principalmente, pelos esgotos domésticos e industriais que prejudicam o ecossistema aquático. No caso das indústrias têxteis, além da utilização de corantes durante a etapa de tingimento e consumo de aditivos, surgem os inconvenientes relacionados com a liberação de corantes não fixados e não degradados nos processos convencionais de tratamento, que contaminam os efluentes e, quando não são removidos destes, impedem a passagem de radiação solar, afetando a biota dos ecossistemas aquáticos. Portanto, a busca por alternativas de remoção desses corantes de efluentes, gerados durante o tingimento, tem sido cada vez mais explorada e a técnica da biossorção/adsorção vinculada com a imobilização de células em materiais naturalmente sólidos e de baixo custo, têm se apresentado como método mais efetivo e econômico para o tratamento de efluentes têxteis. Além disso, tem-se utilizado muito a imobilização de células a fim de que células livres em suspensão fiquem aderidas a superfícies, preferencialmente, mais densas que o efluente, para que ocorra a decantação e remoção de algumas moléculas tóxicas do efluente, tendendo, geralmente, a aumentar a eficiência desses processos. Consequentemente, este trabalho teve como objetivo a remoção do corante Direct Red 23 (DR 23) através da aplicação das técnicas de adsorção/biossorção, nos pH's 2,50; 4,50 e 6,50. O adsorvente utilizado para a prática da técnica foi o resíduo produzido do lixamento de madeira: a serragem de peroba, in natura e submetida a três tratamentos diferentes, sendo eles, com ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e Polietilenoimina (PEI) onde permanecia em contato com soluções 2%, de cada um, por 24 horas. Após o tratamento a serragem era autoclavada, lavada exaustivamente, neutralizada para o pH 7,0 e incubada em estufa B.O.D a 50°C, por 48 horas. A serragem de peroba também serviu para imobilizar células de *Saccharomyces cerevisiae* a fim de testar se a imobilização de células seria mais eficaz ou não para o processo de remoção do corante. A adsorção/biossorção do corante, bem como a imobilização de células foram avaliadas após o contato com diferentes quantidades de serragem e corante (por

120 minutos), considerando o maior grau de adsorção e imobilização encontradas por análises em espectrofotômetro UV-VIS (200-900 nm). A análise dos resultados permitiu concluir que o corante DR 23 pode ser adsorvido/biossorvido com sucesso utilizando serragem tratada como adsorvente e como agente imobilizante de células, sendo que o teste de maior eficácia de remoção do corante foi a serragem tratada com PEI. De acordo com os resultados obtidos para a remoção total de corante nos pH's 2,50; 4,50 e 6,50, observou-se que o pH onde se obteve maior taxa de adsorção/biossorção foi 2,50. Finalmente, foram estimadas as quantidades de serragem necessárias para remoção total do corante para cada caso, sendo que para o pH 2,50 sempre eram necessárias quantidades menores do que para os demais pH's, evidenciando a eficácia do processo neste pH.

Palavras chave: *Saccharomyces cerevisiae*, serragem de peroba, biossorção, imobilização de células, polietilenoimina, corantes têxteis, adsorção.

ABSTRACT

Presently with the growing development of the industrial sector, the problem of environmental pollution has been an international character. The environment has suffered too much degradation caused mainly by domestic and industrial sewage that harm the aquatic ecosystem. In the case of textiles, apart from the use of dyes during the dyeing step and consumption of additives, there are drawbacks related to the release of unfixed dyes and not degraded in conventional treatment processes that contaminate effluent and, when not these removed, preventing the passage of solar radiation, affecting the biota of aquatic ecosystems. Therefore, the search for alternative removal of these dyes effluent generated during dyeing, has been increasingly explored the technical and biosorption / adsorption linked to the detention cells in naturally solid, low-cost materials, have been presented as a method most effective and economical for the treatment of textile effluents. Furthermore, it has been used for a long immobilization of cells so that cells free in suspension become adhered to surfaces, preferably, more dense than the effluent to the settling and removal of certain toxic molecules in the effluent to occur, tending generally , to increase the efficiency of these processes. Consequently, this study aimed to remove the dye Direct Red 23 (DR 23) by applying the techniques of adsorption /biosorption in pH`s 2.50; 4.50 and 6.50. The adsorbent used for the practice of the technique was the residue produced from sanding wood: mahogany sawing, fresh and subjected to three different treatment, namely, sulfuric acid, sodium hydroxide and remained where Polyethyleneimine 2% (PEI) contact solutions of each, for 24 hours. After treatment the sawdust was autoclaved, washed thoroughly neutralized to pH 7.0 and incubated on an environmental chamber at 50 ° C for 48 hours. The sawdust peroba also served to immobilize *Saccharomyces cerevisiae* cells to test the immobilization of cells would be more effective or not in the process of removal of the dye. The adsorption/biosorption of the dye as well as the immobilization of cells were evaluated after contact with different amounts of sawdust and dye (for 120 minutes), whereas the highest degree of adsorption and immobilization found in analyzes by UV-VIS spectrophotometer (200 - 900 nm). The

results concluded that the 23 DR dye can be adsorbed/biosorbed successfully treated using sawdust as adsorbent and as immobilizing agent for cells, and the increased efficiency of dye removal test was sawdust treated with PEI. According to the results obtained for the complete removal of the dye's pH 2.50; 4.50 and 6.50, it was observed that the pH of which was achieved higher rate of adsorption/biosorption was 2.50. Finally, the quantities of sawdust required for complete removal of dye in each case was estimated, and 2.50 for pH were always smaller amounts than required for the other pH's, indicating the effectiveness of the process at this pH.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, mahogany sawdust, biosorption, immobilization of cells, polyethyleneimine, textile dyes, adsorption.

FIGURAS

Figura 1. Diferentes métodos de imobilização celular de micro-organismos.....	38
Figura 2. Fórmula estrutural do PEI.....	39
Figura 3. Peroba rosa - <i>Aspidosperma polyneuron</i>	42
Figura 4. Locais identificados de ocorrência natural de peroba-rosa, no Brasil.....	42
Figura 5. Fórmula estrutural do corante DR 23.....	47
Figura 6. Espectro de absorção do corante DR23, pH's 2,50, 4,50 e 6,50 - $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo.....	55
Figura 7. Espectros A1, A2 e A3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo; respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Serragem in natura.....	57
Figura 8. Gráficos B1, B2 e B3 da concentração de corante remanescente (após adsorção com serragem in natura) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	62
Figura 9. Gráficos C1, C2 e C3 da concentração de corante adsorvido (após adsorção com serragem in natura) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50, 4,50 e 6,50, respectivamente.....	63
Figura 10. Espectros D1, D2 e D3 de absorção do corante DR 23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Serragem tratada com H_2SO_4 2%.....	65
Figura 11. Gráficos E1, E2 e E3 da concentração de corante remanescente (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	68

Figura 12. Gráficos F1, F2 e F3 da Concentração de corante adsorvido (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	70
Figura 13. Espectros G1, G2 e G3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Serragem tratada com NaOH 2%.....	71
Figura 14. Gráficos H1, H2 e H3 da concentração de corante remanescente (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	74
Figura 15. Gráficos I1, I2 e I3 da concentração de corante adsorvido (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	76
Figura 16. Teste de adsorção de DR23 utilizando serragem tratada com PEI 2%.....	77
Figura 17. Espectros J1, J2 e J3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Serragem tratada com PEI 2%.....	78
Figura 18. Gráficos K1, K2 e K3 da concentração de corante remanescente (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	81
Figura 19. Gráficos L1, L2 e L3 da concentração de corante adsorvido (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	83
Figura 20. Espectros M1, M2 e M3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Suspensão de células livres 0,5%.....	86

Figura 21. Gráficos N1, N2 e N3 da concentração de corante remanescente (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	89
Figura 22. Gráficos O1, O3 e O3 da concentração de corante adsorvido (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	91
Figura 23. Espectros P1, P2 e P3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Suspensão de células livres 1%.....	93
Figura 24. Gráficos Q1, Q2 e Q3 da concentração de corante remanescente (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	96
Figura 25. Gráficos R1, R2 e R3 da concentração de corante adsorvido (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	98
Figura 26. Espectros S1, S2 e S3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Suspensão de células livres 1,5%.....	99
Figura 27. Gráficos T1, T2 e T3 da concentração de corante remanescente (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	102
Figura 28. Gráficos U1, U2 e U3 da concentração de corante adsorvido (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.....	104
Figura 29. Espectro de absorção do corante DR23, pH 2,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$	108

Figura 30. Gráfico da concentração de corante remanescente (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH 2,50.....	111
Figura 31. Gráfico da concentração de corante adsorvido (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH 2,50.....	112
Figura 32. Teste de bioissorção com células livres de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 1,5% - pH 2,50. Células em suspensão.....	121
Figura 33. Teste de adsorção com serragem tratada com PEI 2% - pH 2,50. Decantação natural do adsorvente.....	121
Figura 34. Esquema simplificado da aplicação da adsorção/bioissorção para a remoção de corante.....	125

TABELAS

Tabela 1. Comparação da capacidade de adsorção entre os diferentes adsorventes para diferentes corantes.....	34
Tabela 2. Características ideais desejáveis para a matriz ou suporte selecionado para imobilizar células microbianas.....	37
Tabela 3. Protocolo de procedimento para montagem de reta padrão e teste de estabilidade de corante com volume de água e corante diluídos.....	48
Tabela 4. Reta padrão do corante DR 23, pH's 2,50,4,50 e 6,50 e caminho óptico de 0,5cm, para as concentrações: 20, 40, 60 80, 100 mg/mL.....	56
Tabela 5. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	59
Tabela 6. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de serragem in natura adicionadas ao teste de biossorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	60
Tabela 7. Concentração de corante adsorvido pela serragem in natura, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	63
Tabela 8. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	66
Tabela 9. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de serragem tratada com H ₂ SO ₄ adicionadas ao teste de adsorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	67
Tabela 10. Concentração de corante adsorvido pela serragem tratada com H ₂ SO ₄ , pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	69
Tabela 11. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	72

Tabela 12. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de serragem tratada com NaOH adicionadas ao teste de adsorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	73
Tabela 13. Concentração de corante adsorvido pela serragem tratada com NaOH, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	75
Tabela 14. Obtenção das absorvâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	79
Tabela 15. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de serragem tratadas com PEI adicionadas ao teste de adsorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	80
Tabela 16. Concentração de corante adsorvido pela serragem tratada com PEI, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	82
Tabela 17. Protocolo para montagem do teste de estabilidade e reta padrão.....	84
Tabela 18. Retas padrão para as suspensões de células livres 0,5; 1,0 e 1,5%, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, e caminho óptico de 0,5cm, para as concentrações: 20, 40, 60 80, 100 mg/mL.....	85
Tabela 19. Obtenção das absorvâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	87
Tabela 20. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de células livres 0,5% adicionadas ao teste de biossorção, para pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	88
Tabela 21. Concentração de corante adsorvido pelas leveduras livres 0,5%, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	91
Tabela 22. Obtenção das absorvâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	94
Tabela 23. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de células livres 1,0% adicionadas ao teste de biossorção, para pH's 2,50; 4,50 e	

6,50.....	95
Tabela 24. Concentração de corante adsorvido pelas leveduras livres 1%, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	97
Tabela 25. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	100
Tabela 26. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de células livres 1,5% adicionadas ao teste de bioissorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	101
Tabela 27. Concentração de corante adsorvido pelas leveduras livres 1,5%, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	103
Tabela 28. Peso seco para 1 mL das suspensões de leveduras 0,5; 1,0 e 1,5%.....	106
Tabela 29. Teste de imobilização de células, análise do sobrenadante da filtração com leveduras livres (Abs 540 nm).....	107
Tabela 30. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH 2,50.....	109
Tabela 31. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de células livres 1,5% adicionadas ao teste de bioissorção, para pH 2,50.....	110
Tabela 32. Concentração de corante adsorvido pelas leveduras livres 1,5%, pH 2,50.....	112
Tabela 33. Capacidade adsortiva para cada teste de bioissorção.....	114
Tabela 34. Porcentagem de descoloração para cada teste de bioissorção, pH 2,50.....	115

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	23
2.1. Objetivo geral.....	23
2.2. Objetivos específicos.....	23
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	24
3.1. Água.....	24
3.2. A indústria têxtil e o tratamento de efluentes industriais.....	26
3.3. Corantes têxteis.....	29
3.4. Adsorção.....	32
3.5. Biossorção.....	34
3.6. Imobilização celular.....	36
3.7. PEI (Polietilenoimina).....	38
3.8. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	40
3.9. Serragem de peroba.....	41
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.1. Materiais.....	46
4.2. Métodos.....	46
4.2.1. Preparo do corante.....	46
4.2.2. Teste de estabilidade do corante.....	47
4.2.3. Obtenção e preparo da serragem de madeira (peroba).....	48
4.2.4. Tratamentos da serragem.....	49

4.2.4.1. Tratamento com NaOH 2%.....	49
4.2.4.2. Tratamento com H ₂ SO ₄ 2%.....	49
4.2.4.3. Tratamento com PEI 2%.....	49
4.2.5. Teste de adsorção da serragem com o corante DR23.....	50
4.2.6. Obtenção e preparo das células livres liofilizadas - <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	50
4.2.7. Reta padrão para as suspensões de células livres.....	51
4.2.8. Teste de bioadsorção com o corante DR 23 e células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> livres.....	51
4.2.9. Análise por peso seco das suspensões de células livres de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	51
4.2.10. Teste de imobilização de células.....	52
4.2.11. Teste de bioadsorção com o corante DR23 e <i>Saccharomyces cerevisiae</i> imobilizada em serragem.....	53
4.2.12. Cálculo da capacidade adsorptiva.....	53
4.2.13. Cálculo da porcentagem de descoloração.....	54
5. RESULTADOS.....	55
5.1. Teste de estabilidade dos corantes.....	55
5.2. Retas padrão do corante DR 23 nos três pH's analisados.....	56
5.3. Teste de adsorção da serragem in natura, serragem tratada e bioadsorção com células livres e imobilizadas em serragem, com o corante DR 23.....	56
5.4. Teste de adsorção de DR 23 com serragem in natura, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	57
5.5. Teste de bioadsorção de DR 23 com serragem tratada com H ₂ SO ₄ 2%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	64

5.6. Teste de bioissorção com serragem tratada com NaOH 2%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	71
5.7. Teste de bioissorção do DR 23 com serragem tratada com PEI 2%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	77
5.8. Reta padrão para as suspensões de células livres.....	84
5.9. Retas padrão das suspensões de células livres 0,5, 1,0 e 1,5% para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	84
5.10. Teste de bioissorção com o corante DR 23 e células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> livres 0,5%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	86
5.11. Teste de bioissorção com o corante DR 23 e células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> livres 1,0%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	92
5.12. Teste de bioissorção com o corante DR 23 e células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> livres 1,5%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.....	99
5.13. Análise por peso seco das suspensões de células livres.....	105
5.14. Teste de Imobilização de células.....	106
5.15. Teste de bioissorção com células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> 1,5% imobilizadas em serragem tratada com PEI, para o pH 2,50.....	108
5.16. Cálculo da capacidade adsortiva.....	113
5.17. Cálculo da porcentagem de descoloração.....	115
6. DISCUSSÃO.....	117
7. CONCLUSÕES.....	126
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais aumenta a variedade de cores e a presença delas no nosso dia a dia, sejam nos alimentos, nas vestimentas, esmaltes, cremes, bebidas, etc. Porém para que possamos obter uma infinidade de produtos coloridos são necessárias algumas etapas no processo de industrialização, como por exemplo, o tingimento ou adição de corantes, sejam eles naturais, sintéticos ou alimentícios. A demanda consumista que é gerada pelo crescimento desenfreado e ascensão do capitalismo traz consigo o aumento no consumo de bens duráveis e não duráveis, o descarte em curto prazo, produção de resíduos sólidos, que alimentam o mercado produtivista e a industrialização de mais produtos. Consequentemente é crescente o volume resíduos produzidos nas indústrias e volumes de água e efluentes lançados nos corpos d' água.

Conforme ocorria o Boom Industrial, no início do século XVIII, também cresciam os setores das indústrias têxteis, o qual consome grande quantidade de água principalmente nas etapas de tingimento e fixação, além de descartar grandes volumes de água contendo corantes sintéticos, altamente tóxicos, compondo os efluentes das indústrias têxteis. Tais efluentes atingem, imediatamente, os ecossistemas aquáticos que possuem uma série de mecanismos físicos, químicos e biológicos pelos quais os poluentes podem ser assimilados. Muitas das substâncias,

depois de utilizadas e lançadas em efluentes, têm causado impactos adversos à saúde do ser humano e ao meio ambiente. No caso deste trabalho focaremos em uma substância altamente impactante e preocupante do ponto de vista ambiental, e que tem sido lançada cada vez mais nos corpos d'água: os corantes têxteis sintéticos.

A liberação de compostos coloridos, normalmente tóxicos, representa um dos maiores problemas ambientais da atualidade, pois tais substâncias apresentam alta recalcitrância no meio aquático e a sua persistência, deve-se ao fato dos corantes apresentarem em sua composição química uma grande quantidade de anéis aromáticos, ligações azóicas, aminas e grupos sulfônicos (VITOR e CORSO, 2008).

Tais corantes acarretam vários efeitos como a interdição da passagem de radiação solar, prejudicando a biota vegetal aquática, mortalidade da biota, modificação reprodutiva, sobrevivência e desenvolvimento dos organismos. Todos esses impactos negativos causam a perturbação na estrutura do ecossistema, diminuição dos processos de fotossíntese e o aumento da demanda bioquímica de oxigênio, provocada pela oxidação biológica desse material (PERALTA-ZAMORA et al.; 2002).

O Brasil é o sexto maior produtor têxtil do planeta, ocupando o segundo lugar na produção de denim. O setor têxtil de confecções é um dos que mais emprega no país, sendo o segundo maior empregador na indústria de transformação da qual representa 18,6% do produto interno bruto (ABIT, 2012). Os corantes pertencentes aos efluentes têxteis são compostos com potencial carcinogênico, mutagênico e bioacumulativos bem como de lenta degradação, comprometendo tanto o equilíbrio ecológico como a saúde das comunidades.

Conforme crescem as atividades industriais em decorrência de uma economia capitalista, consumista e que visa lucro, na maioria dos casos, a busca por tratamentos rápidos, de baixo custo, de resultado imediato e significativo, tem sido cada vez maior. Surge, assim, o interesse de se controlar a quantidade e qualidade dos resíduos industriais lançados no ambiente.

Atualmente existem inúmeros pesquisadores preocupados em buscar novas técnicas no tratamento de efluentes têxteis, como por exemplo, fotocatalise

heterogênea, tratamento com ozônio, biodegradação, além de processos físicos, processos combinados e outros. Porém a maioria destas técnicas são altamente caras e complexas.

Em decorrência da grande variedade de compostos que formam os corantes têxteis, e conseqüentemente maior variedade nos compostos que podem ser encontrados no efluente têxtil, surge uma preocupação constante em desenvolver processos direcionados a introdução de tratamentos mais eficientes. Estudos mais recentes propõem o uso de combinações de processos para a obtenção de melhores resultados (MARCHETTO e FILHO, 2005; SOLMAZ et al., 2007). Dentre os processos físicos mais utilizados no tratamento de efluentes e corantes têxteis a adsorção com carvão ativado e outros materiais vem sendo intensamente estudada (AL-DEGS et al., 2000). O estudo de alguns agentes alternativos utilizando-se de biomassa como adsorvente também tem despertado atenção. Alguns artigos têm sido publicados utilizando carvão ativado de coco (KADIRVELU et al., 2000), bambu (WU et al., 1999), casca de eucaliptos (MORAIS et al., 1999) e quitosana (NO e MEYERS, 2000), como materiais adsorventes. Fungos, principalmente os de decomposição branca (KUNZ et al., 2001), em combinação com métodos biológicos e químicos também têm sido testados e se mostrado bastante eficientes na descoloração de efluentes de corantes têxteis e, neste caso, a técnica aplicada para o tratamento de efluentes recebe o nome de bioadsorção (PALMA et al., 1999).

A técnica de adsorção consiste em um processo de transferência de massa do tipo sólido-fluído na qual se explora a capacidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos demais componentes dessas soluções (LEAL et al., 2003). A grande vantagem desse processo também é a possibilidade de recuperação do corante na forma concentrada e a reutilização do adsorvente (KIMURA et al., 1999). Já a bioadsorção, outra técnica que tem sido muito empregada, é um processo muito semelhante a adsorção, porém a diferença é que neste caso se trabalha com biomassa, sendo um fenômeno que pode ocorrer em biomassa viva ou morta. O processo de bioadsorção envolve interações físico-químicas entre a superfície celular e os corantes através de difusão passiva (DIAS et al., 2010).

Além dessas duas técnicas, e combinada a elas, emprega-se, muitas vezes, a

imobilização celular que surgiu como uma alternativa a imobilização enzimática, já que a imobilização celular não requer de etapas de extração, isolamento e purificação como a enzimática. A imobilização celular apresenta inúmeras vantagens no processo de biossorção e biodegradação, entre elas, a reutilização de células imobilizadas, alta resistência mecânica permitindo que os processos metabólicos se realizem em condições adversas de pH, de esterilidade e agitação (COVIZZI, 2007).

No caso deste trabalho o resíduo utilizado como adsorvente dos processos foi a serragem de peroba (*Aspidosperma polyneuron*), proveniente de madeiras e lixamentos da empresa AM Synteco. Além disso, a serragem serviu como suporte para a imobilização de leveduras livres liofilizadas (*Saccharomyces cerevisiae*). Na maioria das vezes, a serragem é considerada resíduo gerado por muitas empresas que utilizam madeira como matéria-prima e estes resíduos ocupam espaço, são inflamáveis e podem causar grande impacto ambiental negativo. Portanto, visando a eficiência das técnicas descritas e a busca por materiais de baixo custo para imobilização de células e posterior tratamento de efluentes têxteis, este trabalho teve por objetivo a busca de técnicas alternativas para a remoção do corante têxtil sintético Direct Red 23 (DR23) - com alto potencial irritante, mutagênico e carcinogênico, diminuindo sua concentração e não causando prejuízo a biota aquática e aos demais ecossistemas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

✓ Comparar a adsorção/biossorção do corante têxtil sintético DR 23 em serragem tratada e in natura, em células livres de *Saccharomyces cerevisiae* e, posteriormente, imobilizadas em serragem, através de métodos qualitativos e quantitativos.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o melhor tratamento, dentre os três avaliados, na análise de adsorção para posterior aplicação do método no teste de imobilização e biossorção do DR 23;
- Avaliar o melhor pH e melhor percentual de células livres para o teste de biossorção com células de *Saccharomyces cerevisiae* e DR23, para aplicá-lo ao teste de imobilização em serragem;
- Analisar, comparativamente os testes de maior eficácia, entre os testes de adsorção do DR 23 e serragem de peroba (in natura e tratadas); os testes de biossorção do DR 23 com *Saccharomyces cerevisiae* em suspensão e imobilizadas em serragem.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Água

A água corresponde a um imenso recurso natural do qual as sociedades humanas necessitam para sobreviver. Em várias partes do mundo, o acesso à água é determinado, mas por motivos diferentes: enquanto em alguns países existe uma abundância desse recurso, em outros a escassez leva milhões de pessoas a sobreviverem em condições sub-humanas. O fato da água possuir um ciclo de renovação através do processo de evaporação dos mares, rios e lagos, garante sua renovação, entretanto, este recurso vital à nossa sobrevivência está se esgotando. O principal problema está associado à relação entre o tempo necessário para essa renovação e o ritmo de exploração dos recursos hídricos (GOBBI, 2012).

Atualmente, 69% da água potável é destinada para a agricultura, 22% para as indústrias e apenas 9% usado para o consumo humano. A poluição hídrica é um fator agravante e preocupante, uma vez que os rios têm sido contaminados e, conseqüentemente, poluídos por esgotos domésticos, efluentes industriais, resíduos hospitalares, agrotóxicos, entre outros elementos que alteram as propriedades físico-químicas da água. Mesmo assim o Brasil possui grande privilégio com relação à disponibilidade de água em seu território, já que possui 53% do manancial de água doce disponível na América do Sul e possui o maior rio do planeta (rio Amazonas) (CERQUEIRA, 2011).

A economia de água em processos produtivos vem ganhando especial atenção devido ao valor agregado que tem sido atribuído a este bem, através de princípios como consumidor pagador e poluidor pagador, recentemente incorporado em nossa legislação (KUNZ-ZAMORA, 2002). No caso da indústria, após o processo de produção, a água é devolvida ao meio ambiente na forma de efluentes industriais, contendo grande parte dos produtos químicos utilizados nas diversas fases dos processos produtivos. Uma vez que estes efluentes são devolvidos diretamente aos rios e lagos locais, a presença de poluentes e produtos químicos pode ocasionar danos para todas as populações e ecossistemas dependentes desta água (BNDES,

2004). A poluição de corpos d'água com compostos que provocam, além da poluição visual, alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese, tem chamado muita atenção de vários órgãos que visam proteção ambiental bem como normas e requisitos para descartar resíduos no ambiente, ou seja, conseqüentemente cresce o interesse na implantação de técnicas de tratamento de efluentes industriais pelas próprias indústrias. Registros recentes indicam que as fontes naturais de água estão se tornando, a cada dia, mais poluídas em todo o mundo e desta forma, incapazes de atender a expressiva demanda industrial (UYGUR, 2001).

Incentivadas por razões econômicas, diversas empresas passaram a conduzir programas de gestão ambiental dos seus recursos hídricos, implementando projetos de reúso, redução de perdas e racionalização do uso, obtendo reduções expressivas do consumo de água e dos lançamentos de efluentes ao meio ambiente.

Os efluentes têxteis não tratados adequadamente podem alterar drasticamente a qualidade da água tendo em vista a possibilidade de permanecerem por cerca de 50 anos no ambiente, oferecendo riscos à estabilidade dos ecossistemas aquáticos, como também à saúde pública (BANAT et al., 1996).

A resolução CONAMA Nº357 (BRASIL, 2005) estipula um limite de coloração para corpos de água de classe 2 e para corpos de água de classe 1, onde a coloração não pode sofrer qualquer variação em relação à coloração natural. Para atender aos padrões estabelecidos por essa lei, diversos tipos de tratamento vêm sendo utilizados para a remoção da cor dos efluentes têxteis. Sendo assim, os efluentes da indústria têxtil devem ser tratados, seja para atender aos padrões estabelecidos por lei, seja para resolver os problemas ecológicos, ou para reduzir o consumo e os custos do processo industrial. Os efluentes de indústrias têxteis são usualmente tratados por meio de processos químicos e/ou físicos, os quais têm sido ineficientes para a remoção da cor, além de apresentarem problemas de adoção pelas indústrias.

Outra resolução vigente é a CONAMA Nº 430 (BRASIL, 2011) que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução CONAMA Nº357, citada. Além disso, a Resolução Nº430 aborda que os

efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis. No mais, os responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão realizar o automonitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores, com base em amostragem representativa dos mesmos, como é o caso, por exemplo das indústrias têxteis.

3.2. A indústria têxtil e o tratamento de efluentes industriais

A indústria têxtil brasileira tem grande destaque na economia do país (TOLEDO, 2003). Dentre os setores industriais, a indústria têxtil é considerada uma das mais poluidoras, devido ao elevado volume e variação de composição de seus efluentes (VANDEVIVERE et al., 1998). O Brasil é considerado o maior centro têxtil da América do Sul, tendo atingido a sexta colocação no ranking dos maiores produtores têxteis e de vestuário do mundo (ABIT, 2009). Essas indústrias são agrupadas em três categorias principais: tecidos de algodão, de lã e sintéticos. Das 45 milhões de toneladas de fibras consumidas, mais de 50% são de algodão (AGUIAR e SCHONBERGER, 1995).

O crescimento do setor têxtil tem trazido muitos benefícios à população, proporcionando considerável melhoria na qualidade de vida em nosso país e no mundo, com a geração de novos empregos e aumento do poder aquisitivo de compra da população. Entretanto, este setor tem levado ao surgimento de novos compostos orgânicos sintetizados e continuamente introduzidos em grandes quantidades no meio ambiente, interrompendo assim, o equilíbrio natural e ameaçando os ecossistemas (KOLPIN et al., 2002). Atrelado a esse alto desempenho econômico está o consumo de água e a geração de grandes volumes de efluentes líquidos, os quais apresentam altas concentrações de corantes e de produtos químicos (CHANG et al., 1994). O setor têxtil caracteriza-se como uma das tipologias industriais que mais consomem água em seu processo produtivo. Segundo McKay (1980, 1981), para se produzir 0,45 Kg de tecido de algodão necessita-se de 75 a 380 litros de água que em sua maioria são descartados como efluente. O descarte de efluentes sem tratamento nas águas superficiais podem

modificar a sua coloração natural.

As principais características dos efluentes de uma indústria têxtil são a presença de cor, elevado pH e variação de vazão. Uma indústria de natureza têxtil pode ocasionar a entrada de corantes sintéticos no meio ambiente por quatro vias: emissões ou descargas de efluentes nos processamentos rotineiros, descarte de sobras e resíduos do processo, descarte de embalagens usadas e, também, por meio da eliminação acidental (BOLETIM ETAD, 1995). A cor destes compostos é intensificada e/ou modificada por grupos auxocromos tais como etila, nitro, amino, sulfônico, hidroxila, metóxi, etóxi, cloro e bromo. Os corantes reativos constituem uma classe de corantes utilizados em escala crescente pelas indústrias têxteis devido à sua reatividade com as fibras e estabilidade da cor (KIMURA et al., 1999). A remoção da cor dos efluentes têxteis é um dos grandes problemas ambientais apresentado por esse setor. A elevada estabilidade química destes produtos dificulta seu tratamento por via convencional (DALLAGO et al., 2005).

A remoção biológica ou processo biológico de tratamento é a mais usada pela indústria têxtil e consiste na degradação do resíduo através de micro-organismos utilizados em reatores aeróbios, gerando grande quantidade de lodo. Alguns estudos têm mostrado (AZBAR et al., 2004) que alguns corantes sintéticos têm alta resistência ao tratamento biológico, o que pode reduzir a eficiência desse tratamento e a eliminação da cor do efluente. As características dos efluentes gerados nos diversos processos têxteis, variam de acordo com o tipo de substrato (tecido) utilizado, emprego de corantes, processo de beneficiamento e tipo de equipamentos (ZANONI e CARNEIRO, 2001).

A remoção de rejeitos industriais é um dos grandes problemas ambientais representado pelo setor têxtil, sobretudo considerando que os corantes não pertencem a uma mesma classe de compostos químicos e, não é possível, portanto, remover adequadamente qualquer corante adotando apenas um único procedimento. Os riscos toxicológicos de corantes sintéticos à saúde humana estão intrinsecamente relacionados ao modo e tempo de exposição, isto é, ingestão oral, sensibilização da pele e sensibilização das vias respiratórias (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Durante o beneficiamento têxtil ocorre, adicionalmente à aplicação do corante,

adição de auxiliares (sais, tensoativos, ácidos, bases, etc.) que começam no pré-tratamento do tecido, cuja importância em valores é também relevante. O corante é usado apenas na etapa de beneficiamento secundário e, depois disso, até no próprio tingimento e estampagem, há acréscimo de ligantes, fixadores, antiespumantes e espessantes. No beneficiamento final ou acabamento, usam-se amaciantes, resinas, antiestáticos e outros. Dentre os efluentes gerados por meio deste beneficiamento, o maior problema de remoção reside no tratamento daqueles oriundos principalmente da etapa de tingimento, resultantes do beneficiamento secundário (FURTADO, 1996). Consequentemente, estes despejos vêm provocando nesses mananciais, o aumento na demanda química e bioquímica de oxigênio, elevação da temperatura, acidez ou basicidade, causando prejuízos e problemas ambientais em todo mundo (GRAU, 1991; JUANG et al., 1996).

Uma área muito promissora no tratamento desses efluentes tem sido a biodegradação. Entretanto, corantes sintéticos são em sua maioria xenobióticos, ou seja, os sistemas naturais de micro-organismos em rios e lagos não contêm enzimas específicas para degradação deste tipo de composto sob condições aeróbias e anaeróbias e a degradação natural do corante se processa muito lentamente. Alguns trabalhos têm demonstrado que a combinação de reação de degradação seguida de adsorção pode aumentar o sucesso da técnica (SLOKAR e MAJCENTE MARECHAL, 1998). Os processos de tratamento de efluentes por adsorção são baseados na remoção do corante através da passagem da amostra em carvão ativado, sílica gel, bauxita, resinas de troca iônica, derivados de celulose, entre outros. Em geral, oferecem custos relativamente moderados em relação às novas técnicas pesquisadas, menor tempo de processamento e poucas variáveis a serem controladas (SOUZA et al., 1998).

Atenção especial deve ser dada quando uma indústria têxtil descarta seus efluentes líquidos na rede municipal de esgotos, sendo necessária a avaliação desses, quanto ao conteúdo de corantes, tendo em vista que podem afetar a planta municipal de tratamento de esgotos, considerando o bloqueio da penetração da luz que impedirá a fotossíntese, no caso de lagoas (VAZOLLER, 2001). A mudança de comportamento no sentido de uma maior fiscalização à poluição já pode ser notada mediante a criação de algumas leis de proteção ao meio ambiente (CAIRNCROSS, 1992; PORTO, 2001). Mesmo assim, ainda é preciso maior

conhecimento e estudo dos corantes têxteis, suas cadeias, classes e estruturas bem como sua estabilidade a fim de se implementar normas e leis cada vez mais eficazes para sua remoção dos efluentes.

3.3. Corantes têxteis

A introdução de corantes reativos no mercado foi um acontecimento importante na tinturaria, pois a partir de então, foram obtidos artigos coloridos mais resistentes à água e ao ensaboamento. Segundo Guaratini e Zanoni (2000), atualmente, o mercado consumidor têm exigido uma tintura de ótima qualidade, resistente a lavagens, exposição ao sol, dentre outros aspectos e, em virtude dessa demanda vários milhões de compostos químicos coloridos têm sido sintetizados nos últimos 100 anos dos quais cerca de 10.000 são produzidos em escala industrial.

Nos processos envolvendo corantes reativos, ocorre ligação covalente entre os grupos reativos e as moléculas das fibras dos tecidos. Tais grupos são capazes de formar ligações covalentes entre um átomo de carbono na molécula do corante e um átomo de oxigênio ou nitrogênio de um grupo hidróxido ou amino respectivamente, presente na fibra. Os átomos de cloro quando reagem com a fibra podem ser substituídos, geralmente, pelos grupos hidroxila (OH) da celulose (algodão). Vale salientar que esta reação pode variar conforme o grupo reativo, podendo ocorrer por meio de adição no caso dos corantes vinilssulfônicos (DALVIN, 1997).

Os corantes são conhecidos no ramo têxtil devido às suas excelentes propriedades de brilho e solidez e dominam o mercado de corantes para o tingimento e estamparia do algodão. Consistem de partículas sólidas orgânicas ou inorgânicas, coloridas, brancas, pretas ou fluorescentes, que são praticamente insolúveis no meio no qual são aplicados, se dispersando em substâncias auxiliares ou sobre substratos, conservando sua estrutura de partícula cristalina durante o processo de coloração (PROJETO CPRH/GTZ, 2001).

Os corantes reativos apresentam três problemas fundamentais durante o processo de tingimento (ZOLLINGER, 1960): i) a reação do grupo eletrofílico do corante reativo com a água (hidrólise) compete com a reação de fixação (formação

de ligação covalente entre o corante e o substrato têxtil). O corante hidrolisado não reage com a fibra ; ii) afinidade dos corantes reativos deve ser ajustada às condições de aplicação; iii) a solidez à lavagem dos corantes reativos depende da estabilidade da ligação corante-fibras, que deve resistir à hidrólise alcalina e hidrólise ácida. O problema da hidrólise do corante reativo tem merecido destaque nos últimos anos devido à contaminação do meio ambiente, de forma que inúmeros autores têm publicado trabalhos no sentido de oferecer alternativas para a eliminação do corante reativo hidrolisado dos efluentes das indústrias que utilizam este corante, e ainda melhorar a fixação do corante, diminuindo sua carga no efluente (ZOLLINGER, 1960; HAGEN et al., 1996).

Os mesmos apresentam estruturas moleculares complexas que podem envolver, durante seu processo de síntese, até 500 reações intermediárias. Geralmente, apresentam um grupo cromóforo também conhecido como azo, antraquinona, nitro, etc. e grupos auxiliares que são responsáveis pela fixação à fibra têxtil – natural ou sintética. No entanto, o grupo mais representativo e largamente empregado pertence à família dos azocorantes que se caracteriza por apresentar um ou mais grupamentos $-N=N-$ ligados a grupamentos aromáticos (KUNZ et al., 2002). Os azocorantes representam cerca de 60% dos corantes utilizados no mundo, sendo extensivamente empregados no tingimento de fibras têxteis (AL-DEGS et al., 2000).

Estima-se que pelo menos 30% dos corantes, utilizados nos processamentos têxteis, se perdem nos resíduos durante as etapas secundárias (DALTIM, 1997). Assim, um dos grandes problemas ambientais enfrentados pelo setor têxtil, atualmente, está relacionado à eliminação desses efluentes, considerando, sobretudo, a composição predominantemente de corantes, cujos grupos funcionais e cromóforos são diferenciados, além da presença de anéis aromáticos típicos dos corantes sintéticos (BUMPUS, 1995; SLOKAR e MAJACENTE MARECHAL, 1998; GUARATINI e ZANONI, 2000). O interesse no potencial poluidor que envolve os corantes têxteis é devido principalmente ao alto grau de toxicidade desses corantes, pois a grande maioria é considerada carcinogênica. O grau de toxicidade de um efluente têxtil se apresenta na faixa entre 90 à 128 fdb (fator de diluição para bactérias) de acordo com os resultados obtidos no PROJETO CPRH/GTZ-ECO (2001).

Embora o volume do corante produzido por uma indústria têxtil, a princípio, possa parecer pouco expressivo, é fundamental considerar o alto potencial de coloração destes compostos. Este é um dos principais motivos que fazem da empresa uma causadora de poluição ambiental, tornando-a mal vista em mercados ambientalmente seletivos (VALLE, 1995; PORTO, 2001). Além destes corantes contribuírem para a poluição dos corpos receptores, existem outros parâmetros como alta suspensão de sólidos (SS), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), calor, acidez, basicidade e contaminantes inorgânicos (BELTRAME, 1999).

Conforme a Lei 9.433/1997, regulamentada pelo Decreto no 50.877, da Constituição Federal Brasileira, os efluentes industriais somente poderão ser lançados nas águas, depois de tratados.

A alta descarga de águas residuárias industriais e de aglomerados urbanos em rios, torna o problema de contaminação de mananciais evidente, elevando a consciência do público sobre as condições do impacto negativo causado por este tipo de ação sobre o meio ambiente (LEONAS e LEONAS, 1994).

A associação internacional ETAD – Ecological and Toxicological Association of the Dyestuff Manufacturing Industry, criada desde 1974 com o intuito de minimizar os possíveis danos ao homem e ao meio ambiente tem realizado grande esforço para fiscalizar a fabricação mundial de corantes sintéticos (ENVIRONMENTAL SAFETY, 1979). Além disso, admite-se que o maior problema ambiental seja gerado pela utilização ampla de azo corante, de reconhecido efeito carcinogênico e mutagênico, já que representa cerca de 60% dos corantes consumidos atualmente no mundo (SOUZA e PERALTA-ZAMORA, 2005).

Através da comparação direta entre a absorbância da amostra de um efluente e o padrão de qualidade requerido para coloração em rios, é possível avaliar o grau de contaminação previsto. Por conta de regras e normas a serem seguidas e a evolução ambientalista mundial, as técnicas de implantação de processos de remoção de corantes de efluentes tem tido cada vez mais destaque e interesse. Dentre os processamentos mais utilizados para tal fim destacam-se, principalmente, processo de adsorção, biossorção, biodegradação, degradação química, eletroquímica, fotoquímica, precipitação e outras (GUARATINI e ZANONI, 2000).

São necessários esforços para encontrar técnicas de bioestimulação e biorremediação para incrementar os conhecimentos, de forma a modificar a realidade que apresenta o ambiente atingido pelos poluentes (KAMIDA e DURRANT, 2005).

3.4. Adsorção

Os processos que envolvem a adsorção apresentam-se como um dos mais atraentes na solução dos problemas de tratamento de efluentes gasosos e líquidos, com grande variedade de aplicações, como a adsorção de pesticidas (LAMBERT et al., 1997), metais (SRIVASTAVA et al., 1989) e tratamento de efluentes têxteis, sendo bem mais eficaz que os métodos convencionais de digestão aeróbia (MCKAY, 1980).

A adsorção é um processo de transferência de massa do tipo sólido-fluido na qual se explora a propriedade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos demais componentes dessas soluções. Uma vez que os componentes adsorvidos concentram-se sobre a superfície externa do sólido, quanto maior for a superfície externa por unidade de peso de sólido, tanto mais favorável será a adsorção. Por esta razão, os adsorventes são, geralmente, partículas sólidas porosas.

Dependendo das forças de ligação entre as moléculas que estão sendo envolvidas e o adsorvente, podem ocorrer dois tipos de adsorção: a física e a química (quimiossorção). A diferença fundamental entre a adsorção física e a química está nas forças que causam a ligação adsorptiva (CIOLA, 1981). A adsorção física, ou de Van Der Waals é um processo rápido e facilmente revertido e que decorre da ação de forças de atração intermolecular fracas entre o adsorvente e as moléculas adsorvidas e operam em estados líquidos, sólidos e gasosos. Na quimiossorção, o adsorbato se liga a superfície do adsorvente por forças originadas a partir da troca ou compartilhamento de elétrons, como ocorre nas ligações químicas (CIOLA, 1981).

Os materiais adsorventes são substâncias naturais ou sintéticas, cujo acesso às superfícies internas dos seus poros passa a depender de uma seleção natural

que ocorrerá entre o sólido (adsorvente) e o soluto (adsorbato). Um adsorvente deve reunir uma série de características favoráveis de eficiência, como alta resistência mecânica, baixas perdas de carga, baixo custo, baixo poder de aglomeração, elevada inércia química, alta densidade e afinidade com o adsorbato, porém a propriedade mais importante é a área interfacial (área externa mais área dos poros) (MEYER et al., 1992).

Materiais de baixo custo têm sido usados como: carvão de coque, turfa, carvão de pedra, polímero sintético não-iônico, terra de diatomácea, bentonita, resinas trocadoras de íons e algodão modificado, vermiculita, pó-de-serra, haste de milho, areia e cascas de arroz. Dentre os materiais estudados pode-se citar também: palha de palmeira (NASSAR e MAGDY, 1997); escória de aço e pena de ave (RAMAKRISHNA e VIRARACHAVAN, 1997), resíduo de siderúrgicas (AMORIM et al., 2007), lama vermelha (SILVA FILHO et al., 2008), resíduo de curtume (DALLAGO et al., 2005), folha de azadirachta indica (IMMICH, 2006), casca de semente de araucária (ROYER, 2007) etc. A Tabela 1 apresenta um resumo comparativo dos parâmetros de adsorção para diferentes corantes utilizando diversos resíduos (ANTUNES, 2010).

Tabela 1. Comparação da capacidade de adsorção entre os diferentes adsorventes para diferentes corantes

Adsorvente	q _m (mg/g)	Corante	Referências
Carvão comercial	434	Remazol Black B	Al-Degs et al. (2000)
Carvão comercial	400	Remazol red	Al-Degs et al. (2000)
Carvão de casca de eucalipto	90	Remazol Black B	Morais et al. (1999)
Carvão de casca de coco	11,04	Remazol vermelho RG	Koirishi et al. (2000)
Microesfera de quitosana	30,4 (pH 2,0) 5,69 (pH 9,5)	Reativo Laranja 16	Kimura, et al. (2000)
Salvinia sp	133	Rodamina B	Fincato, Walber e Schneider (2000)
Argila Esmectita <i>in natura</i>	370,37	Solophenyl Turquesa BRLE 400%	SILVA et al. (2005)
Argila Esmectita <i>Ativada</i>	769,23	Solophenyl Turquesa BRLE 400%	Silva et al. (2005)

*q_m corresponde à massa de soluto adsorvida requerida para saturar a monocamada do adsorvente em mg/g.

Fonte: ANTUNES et al., 2010.

3.5. Bioadsorção

O processo da bioadsorção que emprega como adsorvente materiais de origem natural surge como uma tecnologia promissora e em atual expansão. A bioadsorção é definida como a acumulação e concentração de poluentes orgânicos e inorgânicos incluindo principalmente metais pesados e corantes de soluções aquosas pelo uso de materiais biológicos. Estes materiais biológicos são compostos principalmente de biomassa microbiológica morta ou viva, a qual pode incluir bactérias, fungos e algas (AKSU e KARABAYUR, 2008).

Este método se torna atraente devido ao seu baixo custo, fácil disponibilidade, eficiência elevada, biodegradabilidade, facilidade de operação e capacidade para tratar corantes em formas mais concentradas (MESHKO et al., 2001; SANGHI e BHATTACHARYA 2002; BULUT e AYDIN, 2006). O mecanismo de ligação entre a biomassa inativa e o poluente depende, segundo Cossich (2000), da natureza química deste poluente (espécie, tamanho, carga iônica), tipo de biomassa, sua

preparação e suas propriedades superficiais específicas, além das condições ambientais (pH, temperatura, força iônica, existência de competição com espécie orgânicas ou inorgânicas presentes na solução).

O principal atrativo da bioissorção é o baixo custo associado ao bom desempenho de remoção. Materiais naturais abundantes ou resíduos de processos industriais podem ser usados como bioissorventes com desempenho comparável àquele de resinas de troca iônica (COSSICH, 2000). Certos tipos de biomassa microbiana podem reter grandes quantidades de íons metálicos por sorção passiva e/ou complexação, fenômeno este conhecido como bioissorção (MURALEEDHARAN et al., 1991). Para realizar a remoção de compostos tóxicos, como corantes em soluções aquosas, a utilização de biomassa microbiana têm sido muito estudada nos últimos anos, principalmente pelo fato de se obter um relativo sucesso no emprego desta técnica na remoção de metais pesados de efluentes industriais (CORSO e ALMEIDA, 2009).

Em algumas cidades litorâneas, a grande quantidade de algas marinhas arribadas (algas que são arrastadas do seu habitat natural e chegam juntas às praias) representa um problema ambiental, e deve ser aproveitada, como por exemplo, na bioissorção de metais pesados como cromo e chumbo presentes em efluentes industriais. Por outro lado, em cidades que possuam uma elevada quantidade de indústrias de móveis e madeireiras, a serragem é um resíduo que também pode ser aproveitado para adsorção dos corantes (KOROISHI et al., 2000)

Estudos realizados com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, usada em grande variedade de processos fermentativos industriais demonstram o grande potencial bioissorvente dessa biomassa na retenção de diversos metais, entre eles o cádmio, cobre, chumbo, níquel e cromo (IV), e até mesmo corantes (VASUDEVAN et al., 2003; JIANLONG, 2002; ÖZER e ÖZER, 2003; AKSU e DONMEZ, 2003).

A bioissorção através de fungos e leveduras tem sido amplamente reportada na literatura. Akar et al. (2009) avaliaram o efeito da mudança do pH, quantidade de biomassa, tempo de contato e temperatura na descoloração de uma solução de Acid Red 44 utilizando-se o macro fungo *Agaricus bisporus*. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* tem sido estudada na bioissorção do Remazol Blue, Reactive Black e Reactive Red (AKSU e DONMEZ, 2003).

3.6. Imobilização celular

As primeiras pesquisas sobre imobilização de células microbianas surgiram a partir das observações da capacidade de alguns micro-organismos se fixarem naturalmente em superfícies de diferentes ambientes, desde caules de árvores como no caso de micro-organismos fitopatogênicos, até cateteres hospitalares em se tratando de bactérias oportunistas (JUNTER e JOUENNE, 2004). A Imobilização Celular (IC) consiste no confinamento físico das células em uma região definida de espaço, na qual são mantidas suas atividades catalíticas em processos de operação contínua ou descontínua possibilitando a reutilização das mesmas (FREEMAN e LILLY, 1998). A tecnologia da IC se restringe à produção de metabólitos extracelulares ou a utilização de micro-organismos como biocatalisadores (KOURKOUTAS et al., 2004; PRASAD et al., 2005). A característica fundamental das células imobilizadas para o uso nestes processos é a sua alta resistência à exposição a compostos tóxicos e ambientes hostis (JUNTER e JOUENNE, 2004).

Muito dos materiais utilizados em imobilização são sintéticos e não-biodegradáveis, o que causa problemas no meio ambiente após sua utilização. Outros, por sua vez, são tóxicos ou mesmo conferindo ao produto propriedades indesejáveis tais como cor, sabor e aroma, o que os tornam inapropriados para imobilização principalmente na indústria de alimentos (GEMEINER et al., 1993; OGBONNA et al., 1996).

Existe, assim, a necessidade da busca de materiais alternativos para serem usados como suporte. As qualidades esperadas dos materiais alternativos é que sejam renováveis, biodegradáveis, de baixo custo, bem como de fácil disponibilidade particularmente em países em desenvolvimento (OGBONNA et al., 1996). Tem sido relatado o uso de diversos compostos de natureza celulósica que apresentam essas características, conforme se nota na Tabela 2. Entre eles citam-se o bagaço de cana, pedaços de madeira, pó-de-serra e casca de arroz (CHEUNG et al., 1986; CHOU e JASOVISKY, 1993).

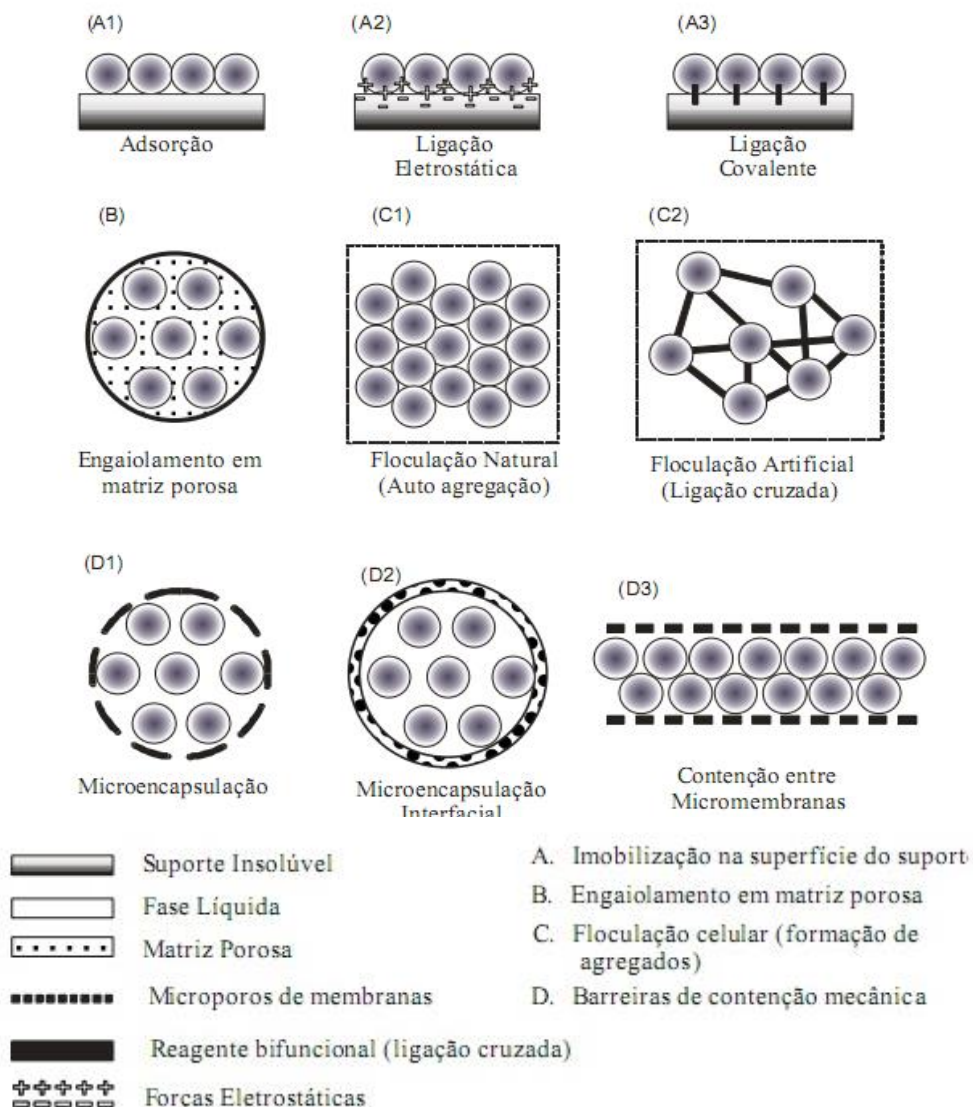
Tabela 2. Características ideais desejáveis para a matriz ou suporte selecionado para imobilizar células microbianas

Características	Referências
Ter grande área superficial com espaço intersticial para o crescimento celular.	DEVI S, SRIDHAR, 2000
Possuir grupos funcionais ligantes, no caso de adesão artificial.	FREEMAN; LILLY, 1998
Ser facilmente regenerável e possível de reuso.	CHAMPAGNE; LACROIX; SODINI-GALLOT, 1994
Proporcionar a viabilidade celular e atividade catalítica, por um longo período de tempo.	GARBAYO et al., 2003
Apresentar porosidade uniforme a fim de permitir trocas gasosas, entrada de substrato e fluxo de cofatores e produtos do metabolismo microbiano.	NORTON et al., 1995
Ter boa estabilidade mecânica, química, térmica e biológica.	DÍAZ et al., 2001
Não ser degradável facilmente por enzimas ou solventes envolvidos no processo.	BERGMAIER; CHAMPAGNE; LACROIX, 2005
Ser estável a mudanças drásticas de pressão, temperatura e pH do meio.	MOREIRA et al., 1998
Proporcionar imobilização fácil, acessível e viável para uso em escala industrial.	FENICE et al., 2000

Fonte: COVIZZI et al., 2007.

A Figura 1 apresenta diferentes métodos de imobilização celular de micro-organismos.

Figura 1. Diferentes métodos de imobilização celular de micro-organismos



Fonte: KOURKOUTAS et al., 2004.

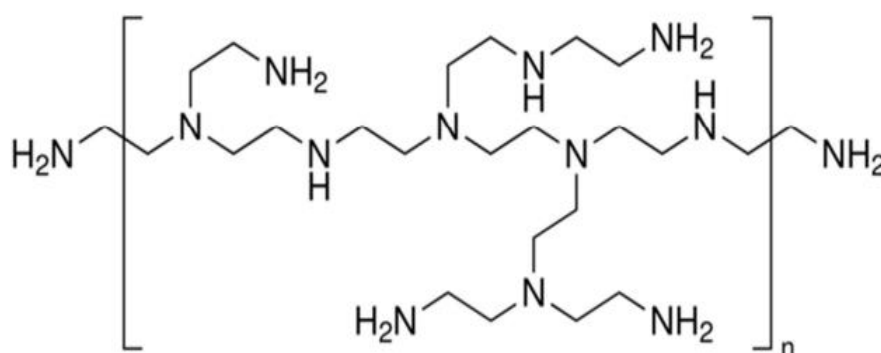
3.7. PEI (Polietilenoimina)

A Polietilenoimina (PEI) é um polieletrólito fraco em solução aquosa que existe em duas formas diferentes: linear ou ramificada. A forma ramificada contém três tipos diferentes de grupos aminas: aminas secundárias e terciárias na cadeia principal, e aminas primárias nas ramificações. A proporção de grupos primários, secundários e terciários é de 1:2:1 (WANG et al., 2006; WINNIK e BYSTRYAK,

1999). Em pH 10, PEI é praticamente um polímero neutro. Em pH 6,6 é um polieletrólito com aproximadamente 20-40% dos grupos aminos protonados. O grau de protonação para as soluções depende da concentração de PEI (WINNIK e BYSTRYAK, 1999). A PEI, em sua forma ramificada, tem diversas aplicações industriais sendo utilizado na formulação de espessantes, agentes floclulantes e adesivos. Recentemente, pesquisas na área de biotecnologia têm utilizado a PEI em terapia genética para a transfecção e expressão de genes in vitro e in vivo devido à sua capacidade de ligar-se ao DNA por reação de condensação e transportar genes a células com uma toxicidade baixa (MÉSZÁROS et al., 2003; NAM et al., 2003).

A adsorção no PEI gera um microambiente hidrofílico cobrindo as células ou enzimas, no entanto, esse microambiente evita a ligação de moléculas de solventes orgânicos mantendo a estabilidade da enzima (PAN et al., 2011). A forma comercializada da PEI é sua fórmula ramificada (Figura 2), pois é solúvel em água. Este polímero tem sido usado em inúmeras aplicações, desde precipitação de ácidos nucléicos (BURGESS, 1991), agente de floclulação de células (GUOQIANG et al., 1994) e agente na imobilização de enzimas e células em suportes sólidos por adsorção (SENTHURAN et al., 1999).

Figura 2. Fórmula estrutural do PEI



3.8. *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae é uma espécie de fungo unicelular e não filamentoso sendo assim uma levedura eucariótica que existem nas plantas, nos alimentos, no ar, no solo.

Associadas a essa levedura estão as produções de pães, bebidas alcoólicas, produção de dióxido de carbono (CO₂), dentre outras. Além disso, essa levedura tem sido muito aplicada em testes e estudos de biorremediação dentre outros tantos, vinculados às áreas ambientais e industriais (GRUPO DO IST, 2011).

No presente estudo utilizou-se levedura liofilizada. É válido lembrar que o processo de liofilização consiste no congelamento de uma substância e sublimação do gelo no vácuo; também denominado congelamento-secagem (TORTORA et al., 2008).

É um micro-organismo aeróbio facultativo, isto é, que tem habilidade de se ajustar metabolicamente, tanto em condições de aerobiose como em anaerobiose (DOS SANTOS et al., 2010). *S. cerevisiae* é um dos biocatalisadores mais comuns, devido principalmente a sua fácil disponibilidade, baixo custo, o não requerimento de instrumentação especial, fácil manipulação, não patogenicidade, eficiência em relação a catalisadores convencionais e o seu desenvolvimento a temperatura ambiente (BARALDI e CÔRREA, 2004). É responsável pela produção dos principais produtos de fermentação, isto é, 60 milhões de toneladas de cerveja, 30 milhões de toneladas de vinho, 800.000 toneladas de proteína microbiana (SCP – Single Cell Protein) e 600.000 toneladas de fermento de pão (PRETORIUS et al., 2003).

Na biodegradação e bioadsorção de corantes têxteis, *Saccharomyces cerevisiae* possui a habilidade de acumular grande quantidade de corante sob condições externas adversas. As leveduras em geral também são conhecidas pela sua capacidade de bioadsorção de metais pesados, dentre outros processos biossorbitivos, como por exemplo, os estudos realizados por Mitter e Corso (2013). Tais estudos abordaram a remoção de azocorantes de efluentes têxteis, usando *Saccharomyces cerevisiae* livres em suspensão de 1% bem como imobilizadas em bagaço de cana tratados com PEI 2% a fim de se obter uma análise comparativa do teste de melhor eficácia na remoção do corante Acid Black 48. O resultado obtido no

estudo mostrou que o melhor teste de remoção de corante foi utilizando a suspensão de leveduras livres, porém quando é realizado o teste com a levedura imobilizada, há um interesse industrial, uma vez que o adsorvente (bagaço tratado + leveduras imobilizadas) decantam e não teria o alto custo para separação dos compostos do efluente. Células mortas de *S. cerevisiae*, também, foram magneticamente modificadas e utilizadas como adsorvente para a remoção de azul anilina, vermelho do congo e Naphtol Blue Black, safranina e cristal violeta no trabalho de Safariková et al. (2005).

3.9. Serragem de peroba

A peroba, peroba rosa, amargosa, rajada, açú, comum, do rio, paulista, mirim, miúda ou sobro, cujo nome científico é *Aspidosperma polyneuron* (Figura3), é uma árvore ornamental que pode atingir de 20 a 30 m de altura, com tronco de 60-90 cm de diâmetro, de copa globosa densa. A peroba-rosa apresenta regeneração natural satisfatória sob o dossel, ocorrendo em todos os estratos na floresta, com a mesma importância relativa, chegando a formar agrupamentos densos, perobais, que outrora cobriam áreas extensivas, (atualmente diminuídas pela exploração intensiva), permitindo a extração de até 400 m³ de peroba por alqueire. É árvore longeva, podendo ultrapassar 1.200 anos de idade (FACCHINI, 1970).

A peroba é uma espécie característica da Floresta Estacional Semidecidual, na formação montana e submontana (VELOSO et al., 1991). O crescimento inicial da peroba-rosa é muito lento, mas a produção volumétrica, a partir de 12 anos, já enquadra a espécie como de crescimento moderado, chegando a atingir 5,90 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Em condições ideais, o incremento médio anual em altura, nas primeiras 2 décadas, é de aproximadamente 50 cm (KAGEYAMA et al., 1991).

Figura 3. Peroba rosa - *Aspidosperma polyneuron*



Fonte: Google imagens.

Entre as espécies de *Aspidosperma* a *Aspidosperma polyneuron* é, sem dúvida, a espécie de maior valor econômico onde, atualmente, toda a madeira de peroba-rosa utilizada no Brasil é importada do Paraguai. Esta madeira pode substituir a madeira da teca (*Tectona grandis*) na construção naval, porque depois da teca, é a que menos oxida os metais com os quais esteja em contato (CARVALHO, 2004).

No Brasil, essa espécie ocorre nos seguintes Estados, indicados na Figura 4

Figura 4. Locais identificados de ocorrência natural de peroba-rosa, no Brasil



Fonte: (CARVALHO, 2004).

A madeira de peroba-rosa, por ser de resistência mecânica e retratibilidade médias, é muito usada na indústria de móveis e indicada, principalmente, em construção civil, para caibros, ripas, forro, marcos de portas e janelas, venezianas, portões, rodapés, molduras, tábuas; construção naval e canoas (o tronco todo), vigamentos, esquadrias, obras externas, construção de vagões, móveis escolares, carrocerias, cabos de ferramentas, produção de folhas faqueadas. É de uso quase irrestrito em carpintaria, na fabricação, entre outros objetos, de vigas, escadas, tacos e de móveis pesados. Sem tratamento preservante, os dormentes dessa madeira apresentam uma vida útil média de 6 anos (MUCCI et al., 1992). A peroba também é útil para plantios em áreas degradadas e de preservação permanente.

Coutinho et al. (1999) afirmam que o aproveitamento da madeira está ligado ao manejo, ao sistema de corte e extração, à tecnologia do processamento primário e à capacitação e treinamento de mão-de-obra, sendo que na Amazônia, o desperdício é considerado elevado, causando impactos decorrentes dos resíduos gerados, pelo baixo rendimento da matéria-prima. Os resíduos de madeira gerados pelo seu processamento podem deixar de ser um risco ao meio ambiente e passar a gerar lucro para a empresa que o produz, além de apresentar alternativas, como matéria-prima para diversos outros produtos. A indústria moveleira possui poucos estudos que indiquem a quantificação de resíduos gerados em seu processo produtivo, necessitando de mais aprofundamento sobre o tema.

Entende-se por resíduos, tudo aquilo que sobra, que é resto e que não possui valor, sendo, então, considerado como lixo, gerando problemas ao meio ambiente. Todo processo de transformação da madeira gera resíduos, em menor ou maior quantidade, sendo que somente 40 a 60% do volume total da tora é aproveitado de acordo com os dados levantados por Fontes (1994) e Olandoski (2001). De acordo com Dobrovolski (1999), os resíduos de madeira podem ser classificados em três tipos: serragem, cepilho e lenha.

- 1) Serragem – a serragem é um resíduo encontrado na maioria das indústrias de madeira sendo gerada, principalmente, pelo processo de usinagem com serras.
- 2) Cepilho – o cepilho é um resíduo encontrado geralmente em indústrias beneficiadoras da madeira como por exemplo, a indústria de móveis, gerado pelo processamento em plainas.

3) Lenha - a lenha engloba os resíduos maiores como aparas, refilos, casca, roletes entre outros e também pode ser encontrada em todas as indústrias de madeira. Segundo Brito (1995), a lenha é o tipo de resíduo de maior representatividade, correspondendo a 71%, seguido pela serragem que corresponde a 22% e, finalmente, os cepilhos, correspondendo a 7% do total dos resíduos.

A serragem é o resíduo de madeira, quando esses são serrados, ou seja, divididos em partes menores. É, normalmente, o excedente de trabalhos manuais com madeira e costuma ser constituída por pequenas lascas ou pó de madeira acumulados na zona de trabalho. Existem várias aplicações para a serragem, como por exemplo, combustível para pequenas olarias por ser altamente inflamável; é usada na venda de ovos, para protegê-los; no feitiço de bonecas, as chamadas bonecas de composição e ainda serve como agente protetor, em casos de vazamentos de produtos químicos não inflamáveis; dentre outros.

Os resíduos sólidos, segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (1988) através da NBR 10004, podem ser de origem industrial, doméstica, hospitalar, agrícola, de serviços e de varrição, e são classificados em:

- Classe I (perigosos) – apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposições especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Ex: borra de tinta, resíduos com thinner.
- Classe II (não-inertes) – apresentam periculosidade, porém não são inertes e podem ter propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Ex: papel, lamas de sistemas de tratamento de águas, resíduos provenientes de caldeiras e lodos...
- Classe III (inertes) – não apresentam qualquer tipo de alteração em sua composição como o passar do tempo. Ex: entulhos de demolição, pedras, sucata.

Apesar de serem considerados como de baixo nível poluidor, a estocagem de resíduos de madeira ocupa espaço, o que gera problemas. Se forem queimados a céu aberto, ou em queimadores sem fins energéticos, vão liberar gases para o ambiente, tornando-se potenciais poluidores. Os resíduos podem ser reutilizados pela própria indústria que os produz, principalmente como energia, ou podem ser

vendidos para outras empresas e aplicado em usos diversos. Se isto for feito, os resíduos deixam de ser um problema e passam a ser um subproduto da empresa em questão, podendo até gerar lucro. No presente trabalho a utilização da serragem como adsorvente é um dos focos principais, uma vez que a serragem é classificada como um resíduo gerado por empresas madeireiras, dentre outras. Este resíduo pode ser considerado um potencial adsorvente para a remoção de corantes têxteis de efluentes industriais bem como é capaz de imobilizar células de leveduras representando um suporte sólido para a imobilização celular. Tais aplicações torna a serragem um resíduo utilizável e de grande interesse, já que, o resíduo gerado por uma indústria pode ser utilizado para remover o resíduo gerado por outra indústria diminuindo o impacto ambiental negativo causado.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

Foram utilizados diversos materiais de uso comum de laboratórios de microbiologia. Também foram utilizados os seguintes equipamentos: Vórtex Phoenix AP 56, Peagâmetro Digimed modelo DMPH2, Agitador magnético Frisaton modelo 752, Balança Analítica ADA 210/L, refrigerador Cònsul 280 litros, Centrífuga Catel – 220 V, Centrífuga MLW, Espectrofotômetro Shimadzu UV-240 1 PC, Estufa de secagem Fanem modelo CB2, B.O.D Marconi, autoclave vertical Phoenix AV 75, mesa rotatória Catel CFW08.

Além disso, os seguintes materiais foram de uso principal para o experimento: Corante sintético DR 23 doado pela ICI (Imperial Chemistry Industry), quem o fabricava, Serragem de madeira (peroba), doada pela empresa de lixamento de pisos AM Synteko, e Levedura liofilizada Dona Benta (para a obtenção das suspensões de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*), fornecida comercialmente e produzida em Istambul.

4.2. Métodos

4.2.1. Preparo do Corante

Solução estoque

A solução estoque foi preparada pesando-se 0,100 gramas de corante em pó, posteriormente diluídos em 100 mL de água destilada, afim de que se obtivesse uma solução de concentração 1mg/mL.

Características do corante

O corante DR 23 é um azocorante, conforme se observa na Figura 5. Este corante foi utilizado nos experimentos para três diferentes pH's, sendo esses 2,50; 4,50 e 6,50 sendo testada em diferentes concentrações de corante. Em seguida foram realizadas análises por meio de espectrofotometria (UV-Vis), obtendo-se o comprimento de onda máximo através da varredura espectral, para os três pHs citados neste trabalho, dentre outras etapas seguintes.

DR 23 – Direct Red 23

Sinônimos: Disodium 3-[(4-acetamidophenyl)azo]-4-hydroxy-7-[[[5-hydroxy-6-(phenylazo)-7-sulphonato-2-naphthyl]amino]carbonyl]amino]naphthalene-2-sulphonate.

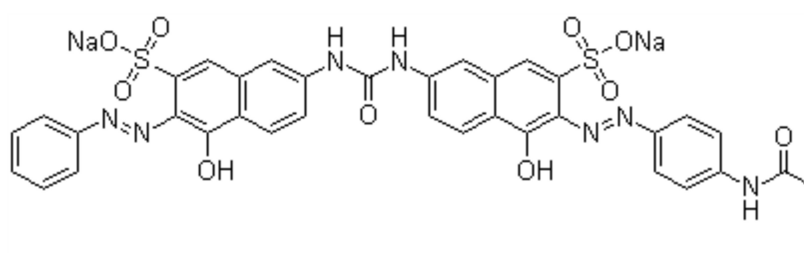
Fórmula Molecular: $C_{35}H_{25}N_7Na_2O_{10}S_2$

Peso Molecular: 813.72

C.I. (Colour Index) - 29160

Fórmula Estrutural:

Figura 5. Fórmula estrutural do corante DR 23



4.2.2. Teste de estabilidade do corante

Foram feitas análises qualitativas onde o corante que apresentava, inicialmente, concentração de 1 mg/mL foi diluído de maneira adequada para os testes. Para este fim a água destilada foi preparada para os três valores de pH já citados ajustando-se o devido valor com H_2SO_4 1M e NaOH 1M. Em seguida foram

pipetadas, em cada tubo de ensaio, diferentes concentrações de água e corante de acordo com o protocolo apresentado na Tabela 3 a fim de manter um padrão gradual para análise espectrofotométrica e obtenção da absorbância.

Tabela 3. Protocolo de procedimento para montagem de reta padrão e teste de estabilidade de corante com volume de água e corante diluídos

Tubo	Água (mL)	Corante (mL)	Concentração de corante (µg/mL)	Absorbância
				(pH's 2,50; 4,50 e 6,50) – 507 nm
0	10,0	0,0	0	
1	9,8	0,2	20	
2	9,6	0,4	40	
3	9,4	0,6	60	
4	9,2	0,8	80	
5	9,0	1,0	100	

Partiu-se do princípio de varreduras espectrais realizadas com o corante nos valores de pH 2,50; 4,50 e 6,50 na concentração de 100 µg/mL de corante, para o intervalo de comprimentos de onda de 200 à 800 nm. Nesta faixa espectral verificou-se a estabilidade do corante DR 23 e a partir desses dados observados, pôde-se determinar o comprimento de onda máximo de absorção do corante, que neste caso era 507 nm.

4.2.3. Obtenção e preparo da serragem de madeira (peroba)

A serragem de madeira foi fornecida pela empresa (AM Synteko – São Carlos-SP) que trabalha com lixamentos de pisos de madeira, portas, escadarias e decks (obtendo-se o pó ou serragem), tratamentos, dentre outros processos, na

madeira e geram a serragem como resíduo. Neste caso o resíduo doado foi da madeira peroba, cujo pó foi peneirado a fim de que se obtivesse uma granulometria padronizada, sendo que a granulometria utilizada foi $0,14 \text{ mm} < X < 0,21 \text{ mm}$. Finalmente pesou-se 1g de pó e adicionou-se em Erlenmeyers onde, para cada caso, o pó sofreu determinado tipo de tratamento, além do controle que foi colocado em água destilada, apenas.

4.2.4. Tratamentos da serragem

4.2.4.1. Adição de NaOH nos Erlenmeyers que continham 1g de serragem. A solução de NaOH foi preparada na concentração de 2% (m/v) sendo 50 ml desta adicionada aos Erlenmeyers.

4.2.4.2. Adição de H_2SO_4 foi semelhante ao tratamento com NaOH.

4.2.4.3. Adição de Polietilenoimina (PEI), semelhante aos anteriores.

A utilização do PEI para os teste e tratamentos foi feita segundo Mitter e Corso (2013), onde o PEI foi utilizado para tratar o bagaço de cana a fim de se observar se a capacidade adsorptiva aumentaria ou não. A intenção era testar um material, estruturalmente, semelhante aos azocorantes, ricos em cadeias NH e/ou NH_2 .

É válido lembrar que realizou-se um controle desses tratamentos, o qual continha apenas 1 g de serragem e 50 mL de água destilada. Todos os tratamentos da serragem foram submetidos à agitação a 160 rpm, durante 24 horas e, após o tratamento, o material foi lavado, exaustivamente, com água destilada, para a retirada do excesso dos reagentes, e incubado em estufa B.O.D à 65°C , durante 48 horas.

4.2.5. Teste de adsorção da serragem com o corante DR 23

No teste de adsorção, o conteúdo dos tubos de ensaio possuía o volume fixo de 10 mL de solução de corante, sendo 9 mL de água destilada, ajustada nos três pH's, citados neste trabalho, e 1 mL de corante. Todavia, em cada tubo a quantidade de serragem foi alterada gradualmente.

Após 120 minutos em contato com o corante e, dentro de uma estufa B.O.D a 30 °C, os tubos contendo o pó de serragem foram centrifugados por 25 minutos para que a serragem em suspensão fosse eliminada (apenas alguns ficaram suspensos, já que a porção de serragem era mais densa e decantou para o fundo dos tubos). Em seguida foi retirada uma alíquota, por vez, de cada tubo colocando-a numa cubeta de quartzo de 0,5 cm e analisando se houve adsorção do corante pela serragem, através da varredura espectral (espectrofotometria) UV-Vis (200 – 800 nm).

4.2.6. Obtenção e preparo das células livres liofilizadas –*Saccharomyces cerevisiae*.

Foram preparadas três diferentes suspensões de leveduras liofilizadas, sendo estas a 0,5, 1 e 1,5% de *Saccharomyces cerevisiae* obtida através de fermento liofilizado da marca Dona Benta - lote310085115, produzido em Istambul - Turquia. Sabe-se que além da levedura outras substâncias são constituintes deste fermento como, por exemplo, o monoestearato de sorbatina que é usado como conservante, mas que de acordo com algumas análises espectrofotométricas, sabe-se que não há alteração no processo em estudo e nem necessidade de lavagem do material para eliminação de impurezas, mesmo porque a levedura já é liofilizada. Um agitador vórtex foi utilizado para a agitação das amostras antes das leituras de absorbância de modo a evitar que ocorresse decantação das células livres e o resultado fosse alterado.

4.2.7. Reta padrão para as suspensões de células livres

Para cada suspensão de células livres também realizou-se uma reta padrão nos três pH's citados. Essas retas foram construídas a partir de análise em espectrofotômetro UV-Vis à 540 nm, segundo Sumbu et al. (1983). Com os valores das absorbâncias obtidas e uma equação da reta padrão gerada, foram estipuladas, posteriormente, a concentração de descoloração no teste de bioissorção com a células livres e a quantidade de leveduras que foram imobilizadas no processo de imobilização de células em serragem.

4.2.8. Teste de bioissorção com o corante DR 23 e células de *Saccharomyces cerevisiae* livres

Para o teste de bioissorção entre *Saccharomyces cerevisiae* e DR23 foram adicionadas 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1 mL da suspensão, em cada tubo de ensaio. Nesses mesmos tubos foram adicionados, também, 1 mL da solução estoque de corante DR 23 e 9 mL de água destilada testada para os três pHs citados neste trabalho, separadamente. Os materiais ficaram em contato por 120 minutos a 30 °C na estufa B.O.D e, em seguida, os tubos foram centrifugados a 5000 rpm, durante 20 minutos. O sobrenadante restante foi, então, submetido a análise espectrofotométrica UV-Vis (200 – 800 nm) e a partir daí foram feitas análises a fim de descobrir a concentração de corante remanescente. Esses resultados foram armazenados para que, posteriormente, fosse feita a análise comparativa entre a concentração de corante remanescente para o teste de bioissorção com células livres e para o teste com células imobilizadas em serragem tratada e/ou in natura.

4.2.9. Análise por peso seco das suspensões de células livres de *Saccharomyces cerevisiae*

Simultaneamente ao teste de bioissorção com leveduras livres, também foi realizado o peso seco das suspensões de leveduras (0,5; 1,0 e 1,5 %) utilizadas a fim de que se conhecesse e quantificasse a massa de leveduras existentes por

mililitro. Ou seja, foi colocado, em cada cadinho, 1 mL de cada suspensão de células livres e incubados em estufa B.O.D à 65 °C. O tempo dessa análise foi o suficiente para que se obtivesse uma pesagem semelhante por três vezes consecutivas.

4.2.10. Teste de Imobilização de células

O teste de imobilização de leveduras em serragem foi feito, inicialmente, com todos os tipos de serragem, tratada ou in natura. Porém foi selecionado apenas o melhor teste de imobilização obtido neste primeiro experimento piloto para dar continuidade ao experimento de imobilização celular. A imobilização de células foi feita após a realização dos tratamentos da serragem e o preparo de três suspensões de leveduras diferentes, conforme descrito. Para esse primeiro teste, cada tubo continha 1 mL da suspensão de levedura determinada, 9 mL de água destilada e quantidades gradualmente crescentes de pó de serragem tratada, sendo 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1 g. Esses tubos permaneceram em estufa B.O.D à 30 °C, durante 24 horas a 160 rpm. Em seguida, o conteúdo de cada tubo foi filtrado ($x = 0,21\mu\text{m}$) a fim de que fossem retidos na membrana apenas a serragem com a levedura que ficou aderida (imobilizada). Feito este procedimento, o sobrenadante de cada filtrado foi separado em outros tubos e foram analisados UV-Vis a 540 nm, a fim de que se obtivesse a absorbância das células livres contidas. Ou seja, as células que não foram imobilizadas eram quantificadas, através da absorbância, fazendo a leitura do que havia na suspensão inicial de leveduras e do que ficou remanescente.

O melhor resultado obtido, de acordo com os percentuais das suspensões de células livres, foi relevante para que fosse realizado todo o teste de imobilização, o qual foi realizado em Erlenmeyers de 250 mL. Finalmente, para o ensaio de imobilização de leveduras em serragem tratada, colocou-se 1 g de serragem e 50 mL da suspensão de células livres selecionada. Desse teste, 1 grama de serragem com levedura imobilizada foi seca para obtenção do peso seco e outras análises, e o resto foi submetido ao teste de biossorção, em quantidades crescentes, com o corante DR23 (em 9 mL de água e 1 mL de corante), no pH que fora selecionado, anteriormente, com os melhores resultados.

4.2.11. Teste de bioissorção com o corante DR 23 e *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em Serragem

O teste de bioissorção com levedura imobilizada em serragem foi feito apenas com a serragem tratada que mostrou melhor resultado nas absorbâncias, assim como o pH selecionado. Foram utilizadas quantidades crescentes de biomassa imobilizada em serragem, conforme obtidas no teste de imobilização, adicionados em 1 mL da solução estoque de corante e 9 mL de água destilada. O sistema foi levado para uma estufa B.O.D a 30 °C, durante 120 minutos. Após este período, os tubos foram retirados da estufa B.O.D, centrifugados a 5000 rpm, durante 20 minutos, para que ocorresse a completa separação da solução remanescente de corante do material bioissorvente (leveduras imobilizadas em serragem tratada com PEI). Em seguida, o sobrenadante foi submetido a análise espectrofotométrica UV-Vis (200 – 800 nm) afim de que se obtivesse a concentração de corante remanescente para estipular a concentração de corante removido pelo tratamento.

4.2.12. Cálculo da capacidade adsortiva

Para a comparação dos diferentes testes de remoção do corante entre si foi determinada a capacidade adsortiva da serragem, utilizando a equação apresentada na equação 1, já que este cálculo leva em conta a quantidade de adsorvente pela concentração de corante removida. Com base nos testes e valores de concentração de corante remanescente foram analisadas as capacidades adsortiva da serragem, a qual expressa a quantidade em mg de matéria por µg de corante. Em outras palavras, indica a quantidade de corante que poderá ser adsorvida em 1 mg de adsorvente. Neste caso a capacidade adsortiva foi calculada através da adaptação da seguinte equação (HOMAGAI et al., 2010):

Cálculo da capacidade adsortiva

$$q = \frac{C_i - C_f}{P} \quad (1)$$

Onde: q = capacidade adsortiva; P = peso seco; Ci = concentração inicial de corante e Cf = concentração final do corante, após teste de remoção.

4.2.13. Cálculo da porcentagem de descoloração

Os cálculos de porcentagem de descoloração foram analisados segundo Won et al. (2004) e El-Rahin et al. (2009) a partir da equação 2:

Cálculo da porcentagem de descoloração

$$\% \text{ de descoloração} = \frac{\text{Absorbância controle} - \text{Absorbância da amostra}}{\text{Absorbância controle}} \times 100 \quad (2)$$

Absorbância controle

Onde: Absorbância controle = Absorbância da solução de corante inicial; Absorbância da amostra = Absorbância da amostra de corante que passou pelos ensaios de bioadsorção e adsorção.

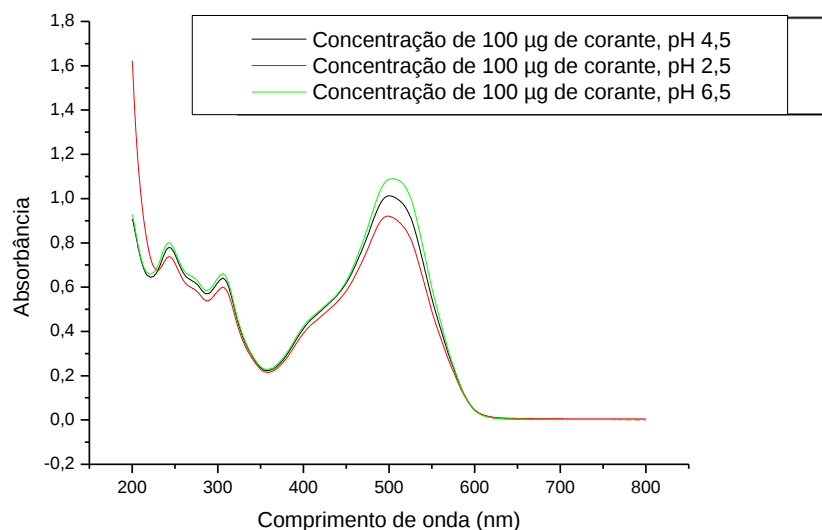
5. RESULTADOS

5.1. Teste de estabilidade dos corantes

Com base na varredura feita por espectrofotometria para o corante DR 23 (Figura 6), nos três pH's, é possível verificar a estabilidade do corante nos diferentes pH's testados. Se o corante fosse estável, graficamente, seria observada uma curva padrão em todos os pontos da varredura e então o experimento seria realizado com base nos dados obtidos pelo ponto do comprimento de onda máximo deste corante.

Com base nisso foram feitos as análises das varreduras para os três pH's referidos.

Figura 6. Espectro de absorção do corante DR23, pH's 2,50, 4,50 e 6,50 - $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo



Conforme pôde-se observar nas varreduras espectrais para o três pH's, o corante DR 23 é estável ao analisar a curva padrão deste nos três casos, onde tem-se o comprimento de onda máximo no 507 nm. Porém, para melhor compreensão da estabilidade ou não do corante DR 23 e para afirmar esse pressuposto, é válido identificar a reta padrão deste em cada pH, bem como a equação das retas, uma vez que, o corante só será classificado como estável se os valores de inclinação das

retas forem iguais ou, pelo menos, muito próximos.

5.2. Retas padrão do corante DR 23 nos três pH's analisados

Na Tabela 4 pode-se observar a equação obtida ao gerar os espectros e elaboração das retas padrão para todos os pH's analisados neste trabalho.

Tabela 4. Reta padrão do corante DR 23, pH's 2,50,4,50 e 6,50 e caminho óptico de 0,5cm, para as concentrações: 20, 40, 60 80, 100 µg/mL

Para pH 2,50	Absorbância 507 nm= - 0,0286 +(0,0118 * concentração do corante). R=0,9999
Para pH 4,50	Absorbância 507nm= - 0,00733 +(0,01164 *concentração do corante). R=0,9996
Para pH 6,50	Absorbância 507 nm= -0,03379 + (0,01198 * concentração do corante). R=0,9982

Observa-se que os valores da inclinação da reta, que é multiplicada pela concentração do corante, na equação das retas, são muito próximos. Isso comprova, mais uma vez, a estabilidade do corante DR 23, seu comprimento de onda máximo, 507 nm, a fim de que se possa dar seguimento aos experimentos.

5.3. Teste de adsorção da serragem in natura, serragem tratada e biossorção com células livres e imobilizadas em serragem, com o corante DR 23

A partir desta etapa, seguiu-se o trabalho com o corante DR 23. Inicialmente partiu-se para o teste de adsorção da serragem in natura e tratada com o corante

DR23, o qual mostraria se a serragem teria ou não capacidade de agir como adsorvente potencial de corantes têxteis sintéticos como o DR23. Além de o teste ser realizado nos três pH's, que revelou qual pH apresentou resultados mais eficazes para o processo.

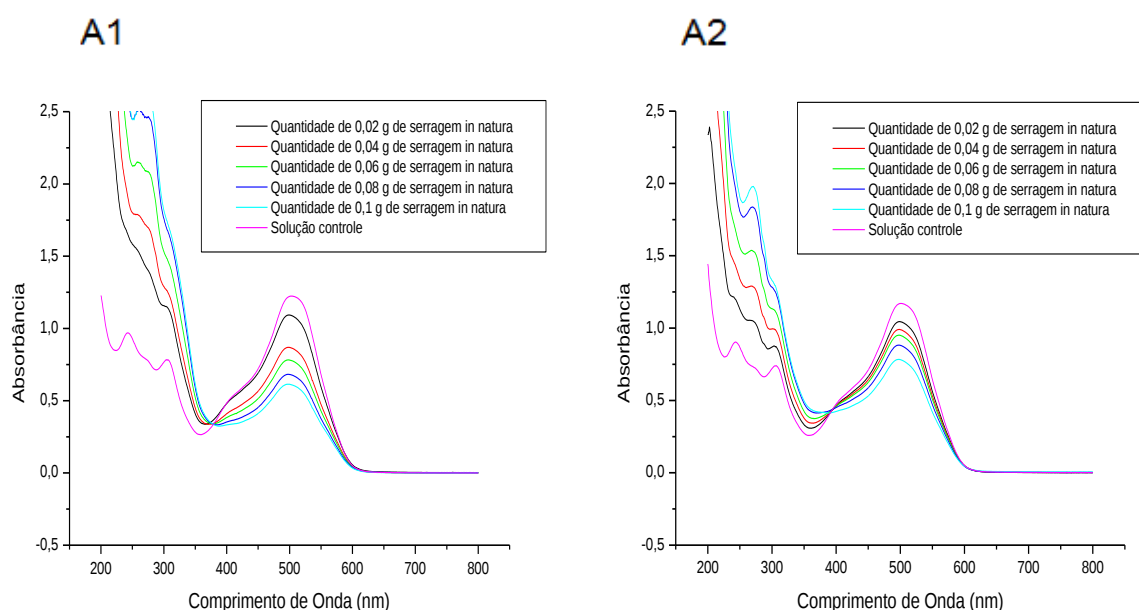
O teste de bioissorção com leveduras foi feito, posteriormente e seguiu-se da mesma forma que os testes com serragem. Foram feitas análises espectrofotométricas em UV-Vis (200 – 800 nm). No preparo da solução de corante colocou-se 9 mL água destilada no pH desejado e 1 mL de corante.

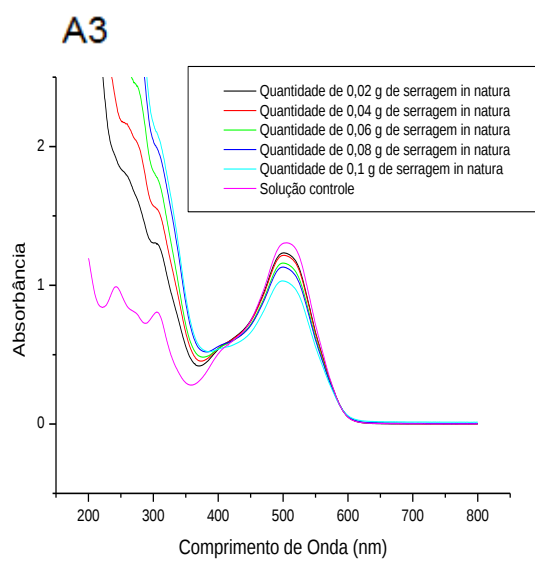
Após estes testes as absorbâncias foram comparadas com as absorbâncias obtidas para a reta padrão do DR23, em cada pH.

5.4. Teste de adsorção de DR 23 com serragem in natura, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50

A Figura 7 apresenta as varreduras do teste de adsorção de DR23 utilizando serragem in natura como adsorvente, para cada pH analisado.

Figura 7. Espectros A1, A2 e A3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo; respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Serragem in natura





A Tabela 5 expressa os cálculos obtidos realizando-se a média aritmética para as absorbâncias dos experimentos realizados em duplicata.

Tabela 5. Obtenção das absorvâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de serragem tratada (g)	Média aritmética das Abs pH 2,50	Média aritmética das Abs pH 4,50	Média aritmética das Abs pH 6,50
Controle (sem serragem)	1,1516	1,1672	1,1859
0,02	1,0557	1,0442	1,2290
0,04	0,8351	0,9834	1,1950
0,06	0,7910	0,9467	1,1392
0,08	0,6738	0,8745	1,1211
0,1	0,5976	0,7990	1,0414

Subtraindo a média aritmética da absorvância obtida no teste de adsorção com serragem in natura da absorvância obtida da reta padrão do corante DR 23, teremos como resultado a absorvância e concentração de corante remanescente.

Considerando as equações das retas padrão:

$$Y = - 0,0286 + (0,0118 * X), \text{ para pH 2,50.}$$

$$Y = - 0,0073 + (0,01164 * X), \text{ para pH 4,50.}$$

$$Y = - 0,0338 + (0,01198 * X), \text{ para pH 6,50.}$$

Temos que Y corresponderá ao valor das absorvâncias obtidas para cada

tubo de ensaio no teste de bioadsorção, ou seja, Y foi substituído pela média aritmética do valor lido das absorvâncias apresentadas. Ao realizar a substituição, foi encontrado o valor de X que correspondia à concentração de corante remanescente, ou seja, a concentração de corante que, no processo de bioadsorção, não ficou aderido ao adsorvente, neste caso, a serragem in natura.

Conforme é sabido, foi utilizada uma concentração fixa de corante no teste (100 µg/mL), variando apenas a quantidade de serragem nos tubos teste. Para encontrar a concentração de corante adsorvido, portanto, bastou subtrair a concentração inicial (100 µg/ mL) da concentração de corante remanescente encontrada e obteve-se o valor da concentração de corante adsorvido.

Como era adicionado 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 e 0,1 g de serragem em 10 mL de solução, os valores foram divididos por 10, a fim de que os cálculos obtivessem os valores da quantidade de serragem necessária em g/mL. Desse modo, a Tabela 6 apresenta a obtenção da concentração de corante remanescente, baseando-se nos cálculos acima e considerando cada teste com as diferentes quantidades de serragem adicionadas, para os três pH's estudados.

Tabela 6. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de serragem in natura adicionadas ao teste de bioadsorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 6,50 (µg/mL)
0,002	91,88	90,64	100
0,004	73,19	85,40	100
0,006	69,45	82,24	97,91
0,008	59,52	76,01	96,40
0,01	53,06	69,50	89,74

Após encontrar os valores das concentrações de corante remanescente utilizando a equação das retas padrão é possível estimar a quantidade de serragem utilizada para que ocorra a remoção total de corante do efluente, através de uma nova reta padrão gerada, onde a quantidade de serragem está em função da concentração de corante remanescente, ou seja, Y corresponde a concentração de corante remanescente e X corresponde a quantidade de serragem necessária para determinada concentração.

- Para o pH 2,50 a nova equação da reta gerada foi:

$Y = 96,813 + (-4565,5 * X)$, onde $R = 0,97098$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,02120$ g/mL de serragem para remoção total de corante nessa concentração.

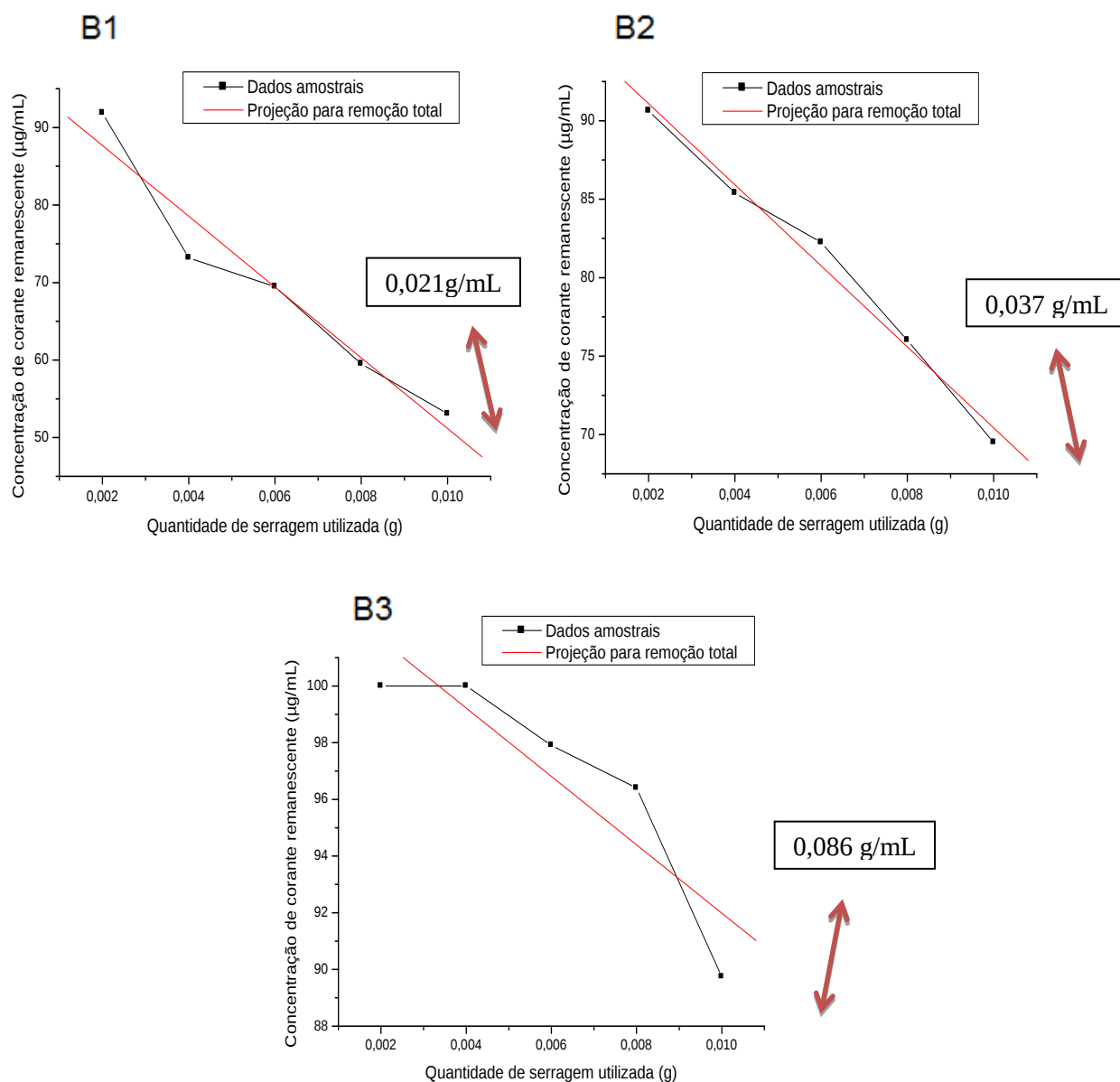
- Para o pH 4,50 a nova equação da reta gerada foi:

$Y = 96,259 + (-2583,5 * X)$, onde $R = 0,99313$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,03726$ g/mL de serragem para remoção total de corante nessa concentração.

- Para o pH 6,50 a nova equação da reta gerada foi:

$Y = 104,046 + (-12,06 * X)$, onde $R = 0,90068$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,086$ g/mL de serragem para remoção total de corante nessa concentração. Sendo assim, a Figura 8 apresenta os gráficos de projeção para a remoção total de DR23, gerados a partir dos cálculos anteriores bem como a concentração de corante remanescente em função da concentração inicial de corante, para cada pH. Tais cálculos também estimaram a quantidade de serragem necessária para que houvesse essa remoção total do DR23 nas condições determinadas de cada pH.

Figura 8. Gráficos B1, B2 e B3 da concentração de corante remanescente (após adsorção com serragem in natura) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente

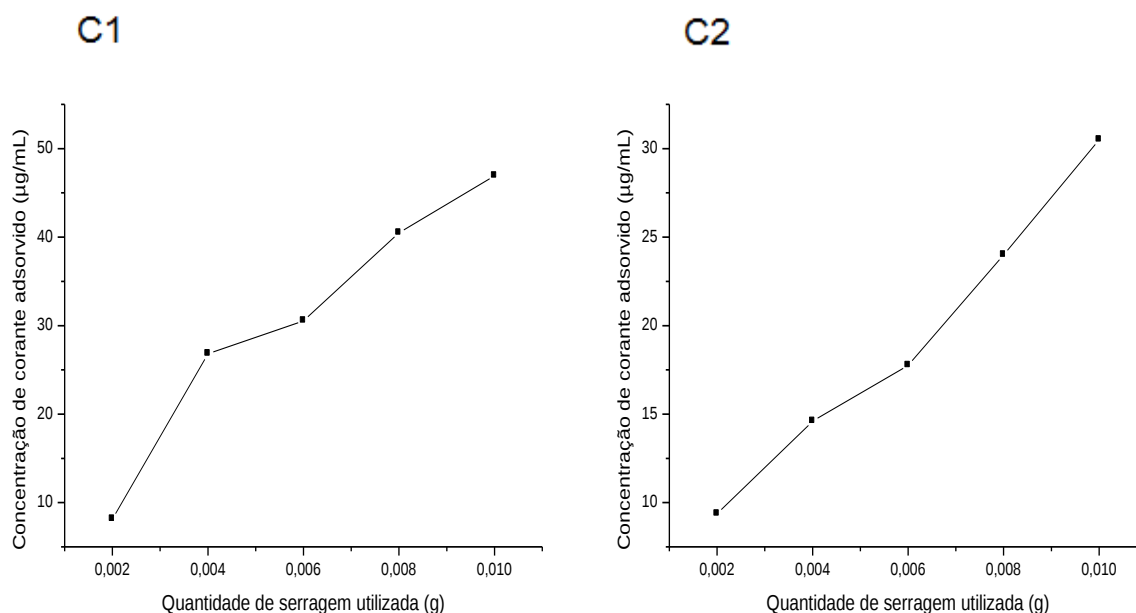


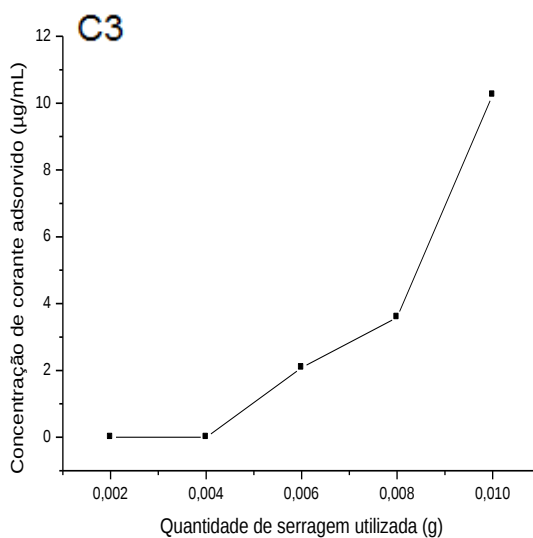
A Tabela 7 apresenta a concentração de corante adsorvido pela serragem, levando em consideração a subtração da concentração inicial de corante com a concentração de corante remanescente encontrada, para os três pH's estudados. Além disso, tem-se na Figura 9 a representação dos gráficos obtidos para as concentrações de corante adsorvido em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Tabela 7. Concentração de corante adsorvido pela serragem in natura, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 6,50 (µg/mL)
0,002	8,12	9,36	0
0,004	26,81	14,60	0
0,006	30,55	17,76	2,08
0,008	40,48	23,99	3,59
0,01	46,94	30,50	10,25

Figura 9. Gráficos C1, C2 e C3 da concentração de corante adsorvido (após adsorção com serragem in natura) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50, 4,50 e 6,50, respectivamente



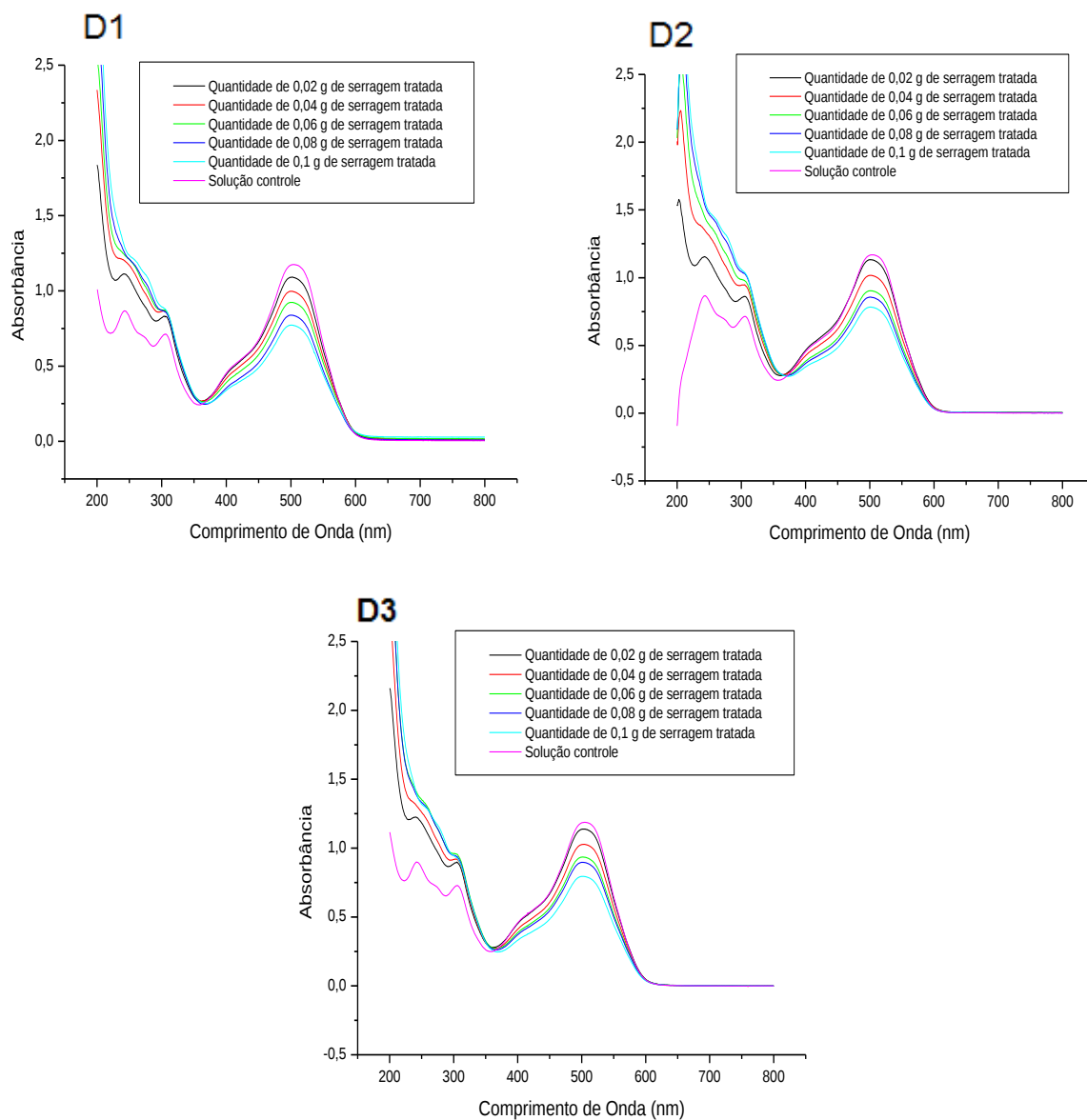


Conforme observada, a projeção para a remoção total do corante DR23 com a serragem in natura, levando em consideração cada pH estudado, é mais eficaz para o pH 2,50; onde são necessárias 0,021 g/mL de serragem in natura, enquanto que para os pH's 4,50 e 6,50 são necessárias 0,037 e 0,086 g/mL de serragem; respectivamente, para que ocorra o mesmo tratamento.

5.5. Teste de bioissorção de DR 23 com serragem tratada com H₂SO₄ 2%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50

A Figura 10 apresenta as varreduras do teste de adsorção de DR23 utilizando serragem tratada com H₂SO₄ como adsorvente, para cada pH analisado.

Figura 10. Espectros D1, D2 e D3 de absorção do corante DR 23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Serragem tratada com H_2SO_4 2%



A Tabela 8 expressa os cálculos obtidos realizando-se a média aritmética para as absorbâncias dos experimentos realizados em duplicata.

Tabela 8. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de serragem tratada (g)	Média aritmética das Abs 507 nm, para pH 2,50	Média aritmética das Abs 507 nm, para pH 4,50	Média aritmética das Abs 507 nm, para pH 6,50
Controle (sem serragem)	1,1516	1,1672	1,1859
0,02	1,0945	1,1234	1,1465
0,04	0,9986	1,0309	1,0474
0,06	0,92995	0,9523	0,9526
0,08	0,8116	0,9150	0,8941
0,1	0,7352	0,8468	0,7983

Subtraindo a média aritmética da absorbância obtida no teste de biossorção com serragem tratada da absorbância obtida da reta padrão do corante DR 23, teremos como resultado a absorbância e concentração de corante remanescente.

Considerando as equações das retas padrão, a Tabela 9 apresenta a obtenção da concentração de corante remanescente, considerando cada teste com as diferentes quantidades de serragem adicionadas, para os três pH's estudados.

Tabela 9. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de serragem tratada com H_2SO_4 adicionadas ao teste de adsorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 2,50 ($\mu\text{g/mL}$)	Concentração de corante remanescente, para pH 4,50 ($\mu\text{g/mL}$)	Concentração de corante remanescente, para pH 6,50 ($\mu\text{g/mL}$)
0,002	95,17	97,47	98,52
0,004	87,05	89,50	90,25
0,006	81,22	82,72	82,33
0,008	71,20	79,50	77,45
0,01	64,72	73,62	69,45

Após encontrar os valores das concentrações de corante remanescente utilizando a equação da reta padrão consegue-se encontrar também, a quantidade de serragem utilizada para que ocorra a remoção total de corante do efluente, através de uma nova reta padrão onde Y corresponde a concentração de corante remanescente e X corresponde a estimativa da quantidade de serragem necessária para determinada concentração.

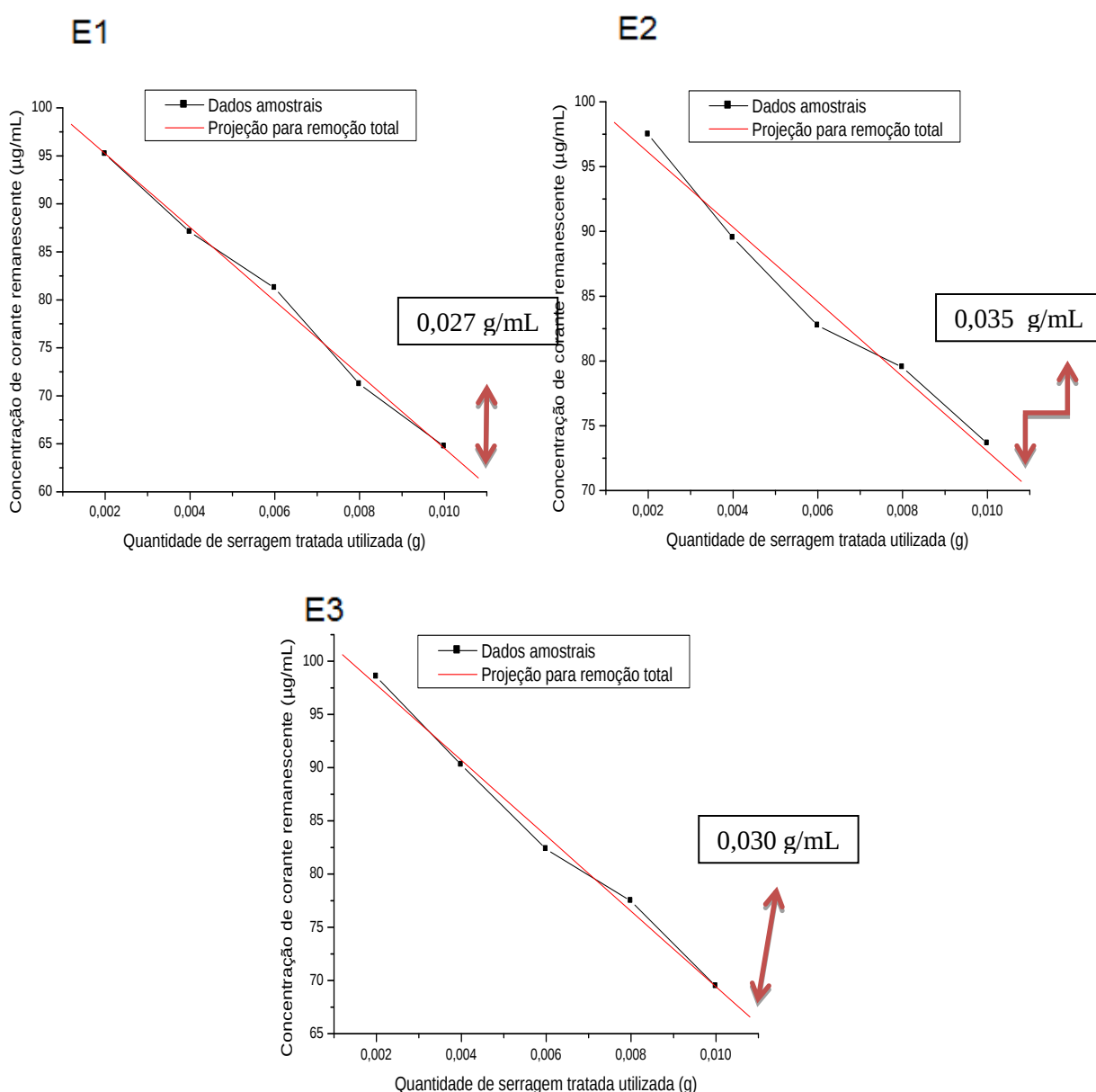
No pH 2,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 102,897 + (-3837,5 * X)$, $R = 0,99738$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,02681$ g/mL de serragem tratada para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 4,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 101,872 + (-2885,0 * X)$, $R = 0,98992$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,03531$ g/mL de serragem tratada para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 6,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 104,882 + (-3547,0 * X)$, onde $R = 0,9968$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,02956$ g/mL de serragem tratada para remoção total de corante nessa concentração. Sendo assim, a Figura 11 apresenta

os gráficos de projeção para a remoção total de DR23, gerados a partir dos cálculos anteriores bem como a concentração de corante remanescente em função da concentração inicial de corante, para cada pH. Tais cálculos também estimaram a quantidade de serragem necessária para que houvesse remoção total do DR23 nas condições determinadas de cada pH.

Figura 11. Gráficos E1, E2 e E3 da concentração de corante remanescente (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente

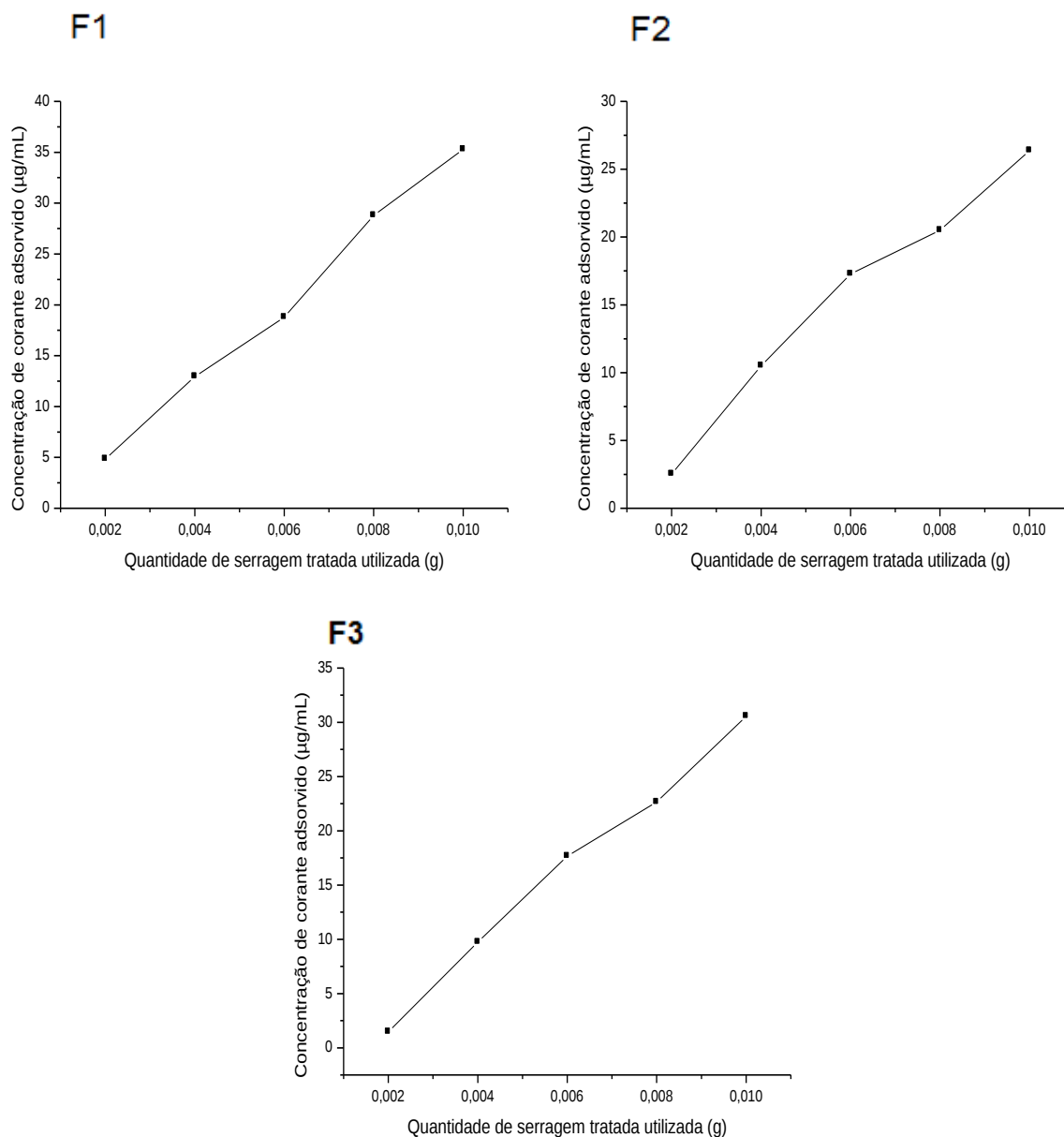


A Tabela 10 apresenta a concentração de corante adsorvido pela serragem, levando em consideração a subtração da concentração inicial de corante com a concentração de corante remanescente encontrada, para os três pH's estudados. Além disso, tem-se na Figura 12 a representação dos gráficos obtidos para as concentrações de corante adsorvido em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Tabela 10. Concentração de corante adsorvido pela serragem tratada com H_2SO_4 , pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 2,50 ($\mu\text{g/mL}$)	Concentração de corante adsorvido, para pH 4,50 ($\mu\text{g/mL}$)	Concentração de corante adsorvido, para pH 6,50 ($\mu\text{g/mL}$)
0,002	4,83	2,503	1,48
0,004	12,95	10,50	9,75
0,006	18,78	17,28	17,67
0,008	28,80	20,50	22,65
0,01	35,28	26,38	30,55

Figura 12. Gráficos F1, F2 e F3 da Concentração de corante adsorvido (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente

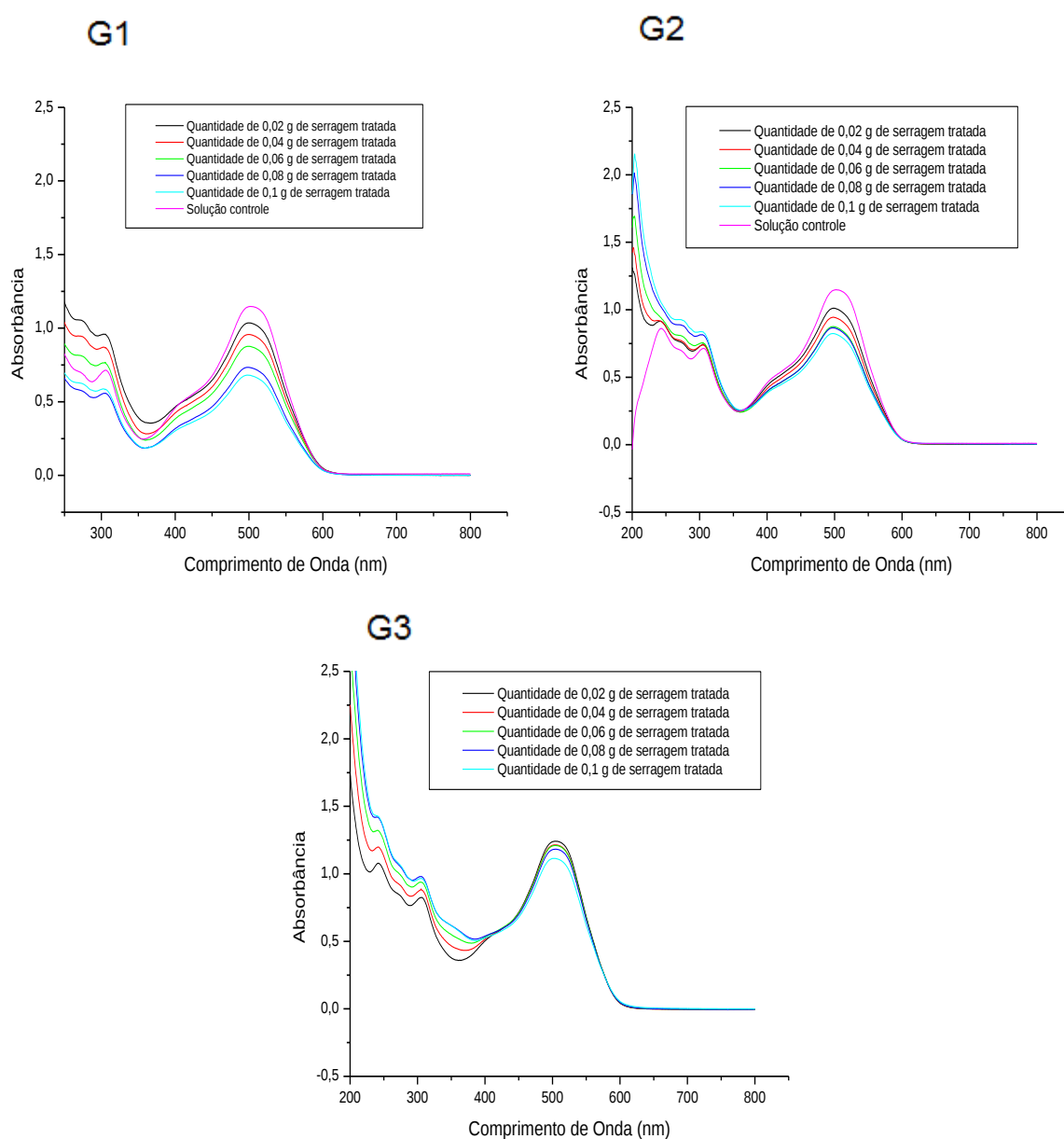


Conforme observada a projeção para a remoção total do corante DR23 com a serragem tratada com H_2SO_4 , levando em consideração cada pH estudado, é mais eficaz para o pH 2,50; onde são necessárias 0,027 g/mL de serragem tratada, enquanto que para os pH's 4,50 e 6,50 são necessárias 0,035 e 0,030 g/mL de serragem; respectivamente, para que ocorra o mesmo tratamento.

5.6. Teste de biossorção com serragem tratada com NaOH 2%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50

A Figura 13 apresenta as varreduras do teste de adsorção de DR23 utilizando serragem tratada com NaOH como adsorvente, para cada pH analisado

Figura 13. Espectros G1, G2 e G3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Serragem tratada com NaOH 2%



A Tabela 11 expressa os cálculos obtidos realizando-se a média aritmética para as absorvâncias dos experimentos realizados em duplicata.

Tabela 11. Obtenção das absorvâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de serragem tratada (g)	Média aritmética das Abs 507 nm, para pH 2,50	Média aritmética das Abs 507 nm, para pH 4,50	Média aritmética das Abs 507 nm, para pH 6,50
Controle (sem serragem)	1,1516	1,1672	1,1859
0,02	1,0206	1,0045	1,1520
0,04	0,9689	0,9403	1,1438
0,06	0,9109	0,8848	1,1310
0,08	0,8133	0,8529	1,1240
0,1	0,7801	0,8027	1,1110

Subtraindo a média aritmética da absorvância obtida no teste de bioadsorção com serragem tratada da absorvância obtida da reta padrão do corante DR 23, teremos como resultado a absorvância e concentração de corante remanescente.

Considerando as equações das retas padrão, vistas anteriormente, pôde-se realizar os devidos cálculos e análises. Desse modo, a Tabela 12 apresenta a obtenção da concentração de corante remanescente, considerando cada teste com as diferentes quantidades de serragem adicionadas, para os três pH's estudados.

Tabela 12. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de serragem tratada com NaOH adicionadas ao teste de adsorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 6,50 (µg/mL)
0,002	88,91	87,22	98,98
0,004	84,503	81,68	98,29
0,006	79,61	76,90	97,22
0,008	71,34	74,15	96,69
0,01	68,53	69,82	95,55

Após encontrar os valores das concentrações de corante remanescente utilizando a equação da reta padrão consegue-se encontrar também, a quantidade de serragem utilizada para que ocorra a remoção total de corante do efluente, através de uma nova reta padrão onde Y corresponde a concentração de corante remanescente e X corresponde a estimativa da quantidade de serragem necessária para determinada concentração.

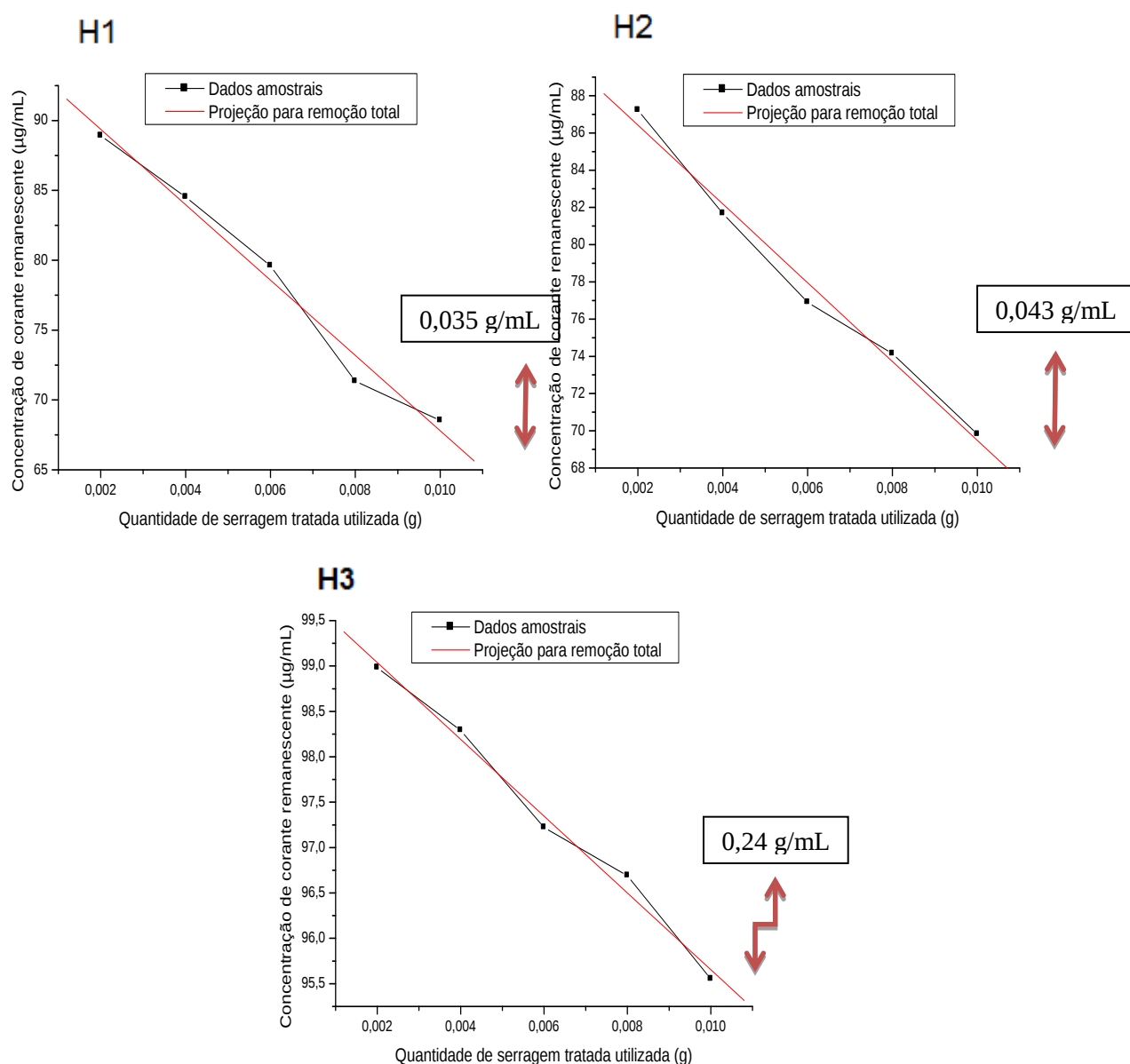
No pH 2,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 94,769 + (-2697,5 * X)$, onde $R = 0,99063$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,03513$ g/mL de serragem para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 4,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 90,653 + (-2116,50 * X)$, onde $R = 0,99364$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,04283$ g/mL de serragem para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 6,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 99,884 + (-423,0 * X)$, onde $R = 0,9953$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,23613$ g/mL de serragem para remoção total

de corante nessa concentração. Sendo assim, a Figura 14 apresenta os gráficos de projeção para a remoção total de DR23, gerados a partir dos cálculos anteriores bem como a concentração de corante remanescente em função da concentração inicial de corante, para cada pH. Tais cálculos também estimaram a quantidade de serragem necessária para que houvesse remoção total do DR23 nas condições determinadas de cada pH.

Figura 14. Gráficos H1, H2 e H3 da concentração de corante remanescente (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente

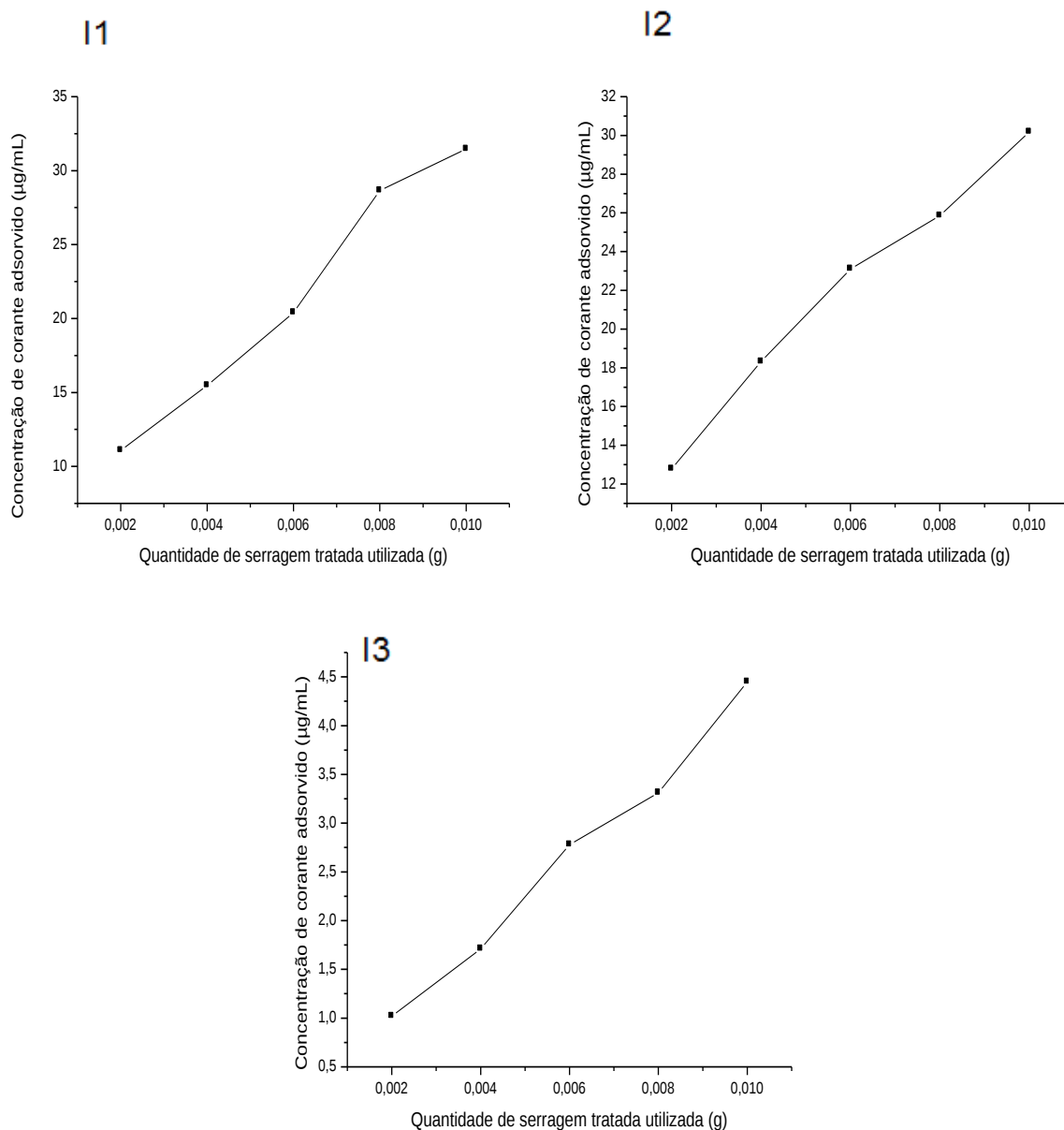


A Tabela 13 apresenta a concentração de corante adsorvido pela serragem, levando em consideração a subtração da concentração inicial de corante com a concentração de corante remanescente encontrada, para os três pH's estudados. Além disso, tem-se na Figura 15 a representação dos gráficos obtidos para as concentrações de corante adsorvido em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Tabela 13. Concentração de corante adsorvido pela serragem tratada com NaOH, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 6,50 (µg/mL)
0,002	11,09	12,78	1,02
0,004	15,47	18,32	1,71
0,006	20,39	23,10	2,78
0,008	28,66	25,85	3,31
0,01	31,47	30,18	4,45

Figura 15. Gráficos I1, I2 e I3 da concentração de corante adsorvido (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente

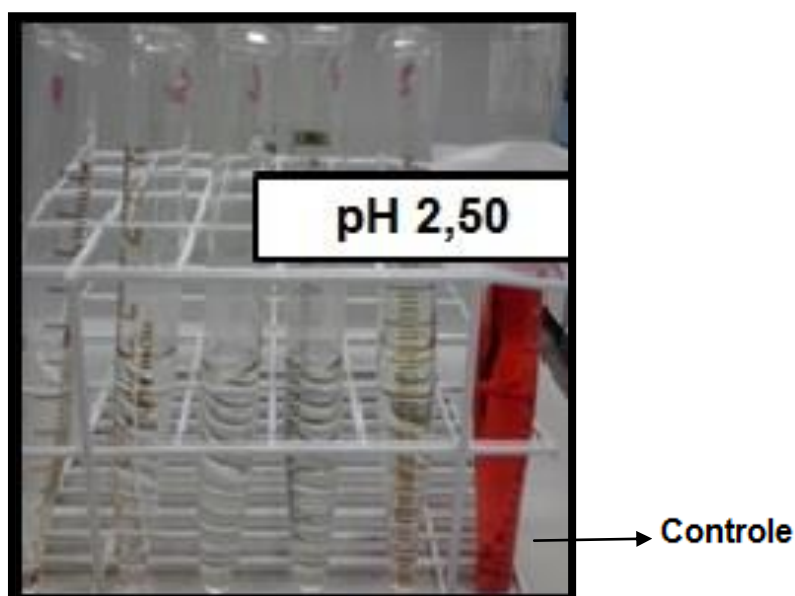


Conforme observada a projeção para a remoção total do corante DR23 com a serragem tratada com NaOH, levando em consideração cada pH estudado, é mais eficaz para o pH 2,50; onde são necessárias 0,035 g/mL de serragem tratada, enquanto que para os pH's 4,50 e 6,50 são necessárias 0,043 e 0,24 g/mL de serragem; respectivamente, para que ocorra o mesmo tratamento.

5.7. Teste de bioadsorção do DR 23 com serragem tratada com PEI 2%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50

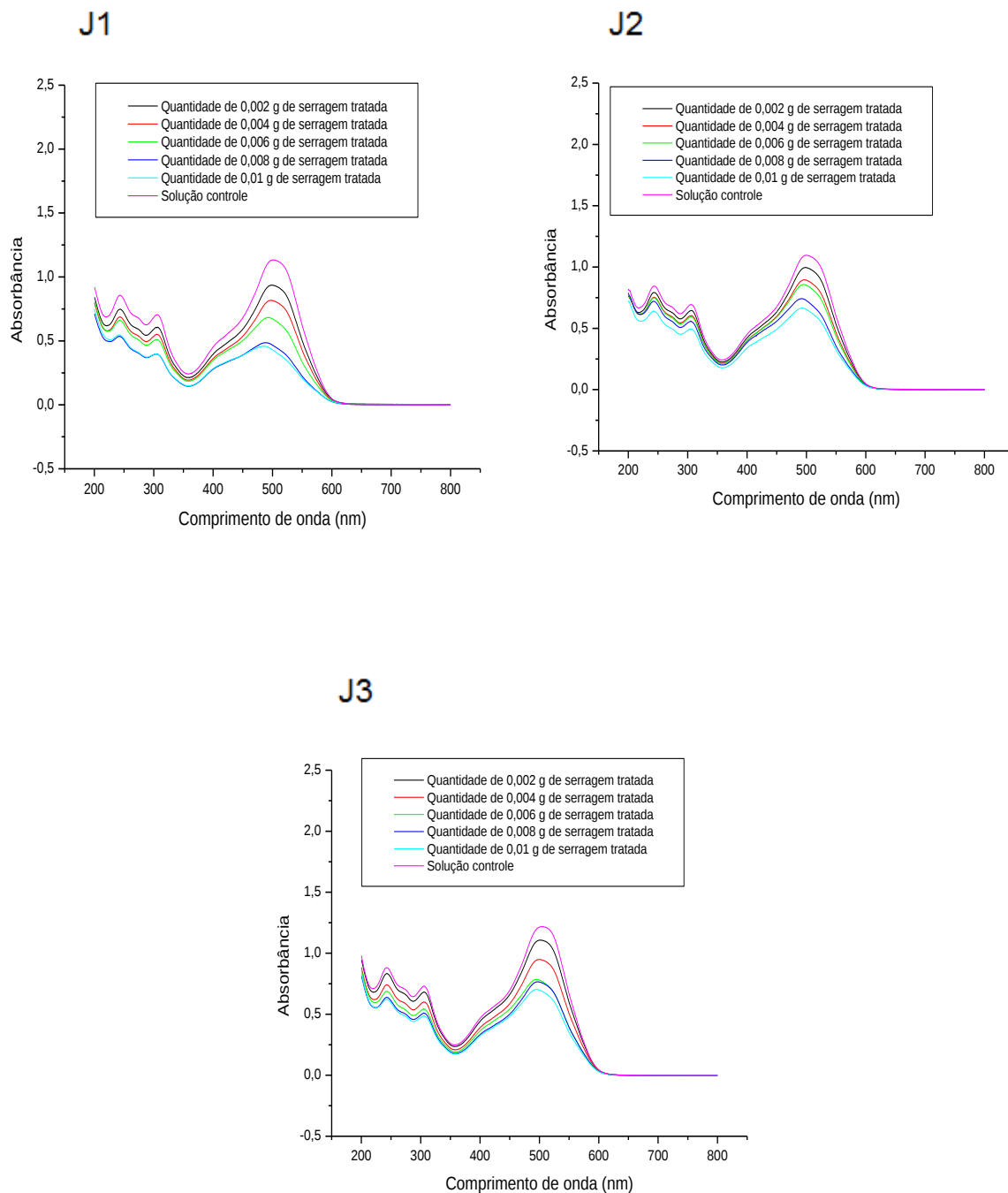
Antes de dar seguimento aos resultados com a serragem tratada com PEI 2% é válido ressaltar que durante os testes realizados neste trabalho, o tratamento com a serragem tratada com PEI, para as mesmas quantidades de serragem utilizadas nos tratamentos anteriores (ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e in natura), removeu o corante DR 23 em concentrações elevadas o suficiente para ocorrer a descoloração dos tubos, conforme observado na Figura 16. Porém essa descoloração foi tão acentuada de maneira que não houve análise comparativa pois não houve leitura no aparelho espectrofotômetro UV- Vis. Contudo segue abaixo o ensaio realizado com serragem tratada com PEI para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50 nas quantidades de 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 e 0,01 gramas de serragem.

Figura 16. Teste de adsorção de DR23 utilizando serragem tratada com PEI 2%



A Figura 17 apresenta as varreduras do teste de adsorção de DR23 utilizando serragem tratada com PEI como adsorvente, para cada pH analisado.

Figura 17. Espectros J1, J2 e J3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx}}$.507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Serragem tratada com PEI 2%



A Tabela 14 expressa os cálculos obtidos realizando-se a média aritmética para as absorvâncias dos experimentos realizados em duplicata.

Tabela 14. Obtenção das absorvâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de serragem tratada (g)	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 2,50	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 4,50	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 6,50
Controle (sem serragem)	1,1516	1,1672	1,1859
0,002	0,9251	0,9818	1,1024
0,004	0,8028	0,8746	0,9404
0,006	0,6515	0,8307	0,7615
0,008	0,4461	0,6999	0,7514
0,01	0,4079	0,6317	0,6815

Subtraindo a média aritmética da absorvância obtida no teste de bioissorção com serragem tratada da absorvância obtida da reta padrão do corante DR 23, teremos como resultado a absorvância e concentração de corante remanescente.

Considerando as equações das retas padrão, vistas anteriormente, pôde-se realizar os devidos cálculos e análises. Desse modo, a Tabela 15 apresenta a obtenção da concentração de corante remanescente, considerando cada teste com as diferentes quantidades de serragem adicionadas, para os três pH's estudados.

Tabela 15. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de serragem tratadas com PEI adicionadas ao teste de adsorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 6,50 (µg/mL)
0,0002	80,82	85,26	94,84
0,0004	70,45	76,02	81,31
0,0006	57,63	72,24	66,38
0,0008	40,22	60,96	65,54
0,001	36,99	55,08	59,70

Após encontrar os valores das concentrações de corante remanescente utilizando a equação da reta padrão consegue-se encontrar também, a quantidade de serragem utilizada para que ocorra a remoção total de corante do efluente, através de uma nova reta padrão onde Y corresponde a concentração de corante remanescente e X corresponde a estimativa da quantidade de serragem necessária para determinada concentração.

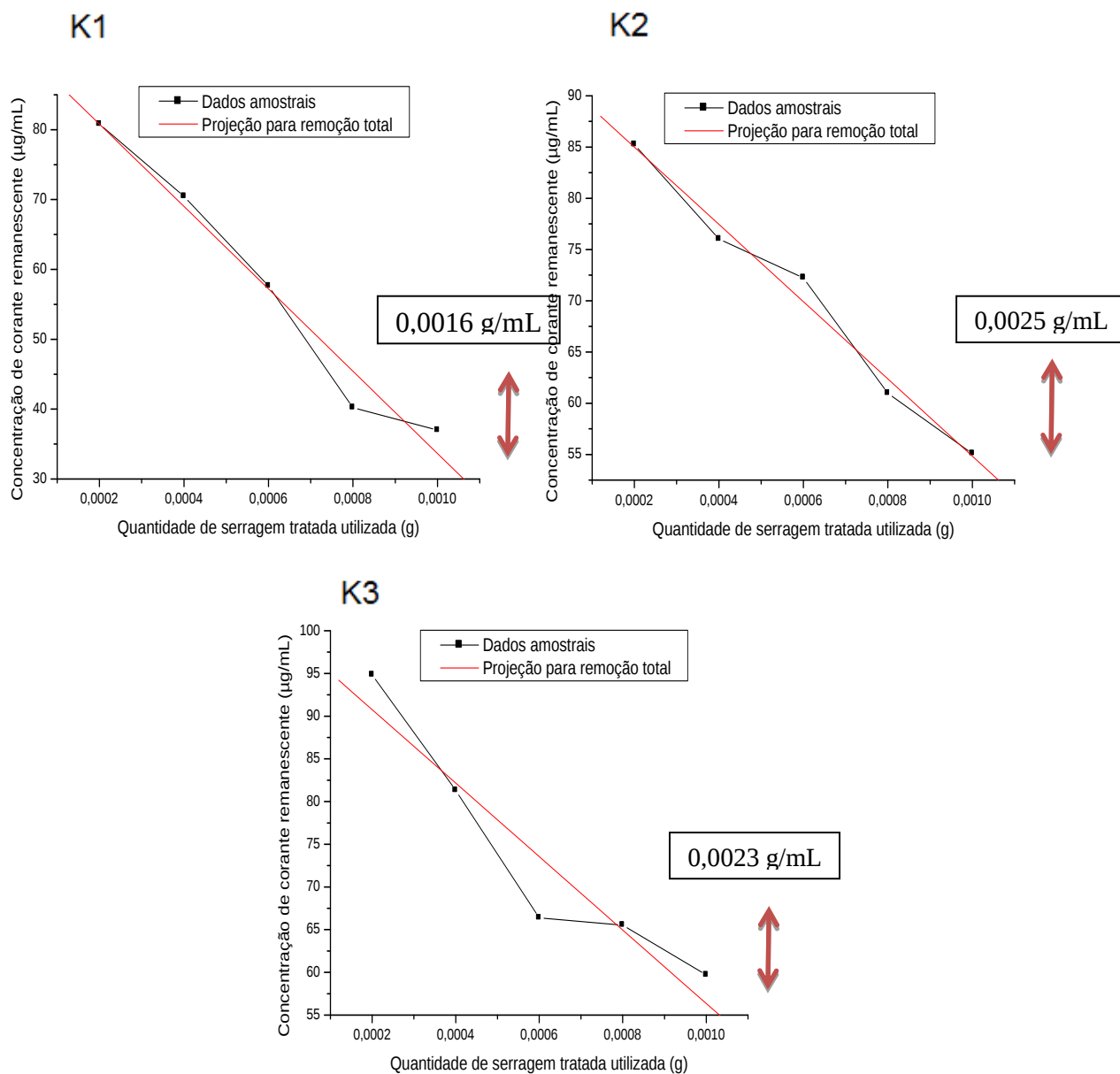
No pH 2,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 92,5089 + (-58945,0 * X)$, $R = 0,9857$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,001570$ g/mL de serragem tratada para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 4,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 92,5038 + (-37710,0 * X)$, onde $R = 0,99167$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,002453$ g/mL de serragem tratada para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 6,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 99,369 + (-43025,0 * X)$, onde $R = 0,94976$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,002309$ g/mL de serragem tratada para

remoção total de corante nessa concentração. Sendo assim, a Figura 18 apresenta os gráficos de projeção para a remoção total de DR23, gerados a partir dos cálculos anteriores bem como a concentração de corante remanescente em função da concentração inicial de corante, para cada pH. Tais cálculos também estimaram a quantidade de serragem necessária para que houvesse remoção total do DR23 nas condições determinadas de cada pH.

Figura 18. Gráficos K1, K2 e K3 da concentração de corante remanescente (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente

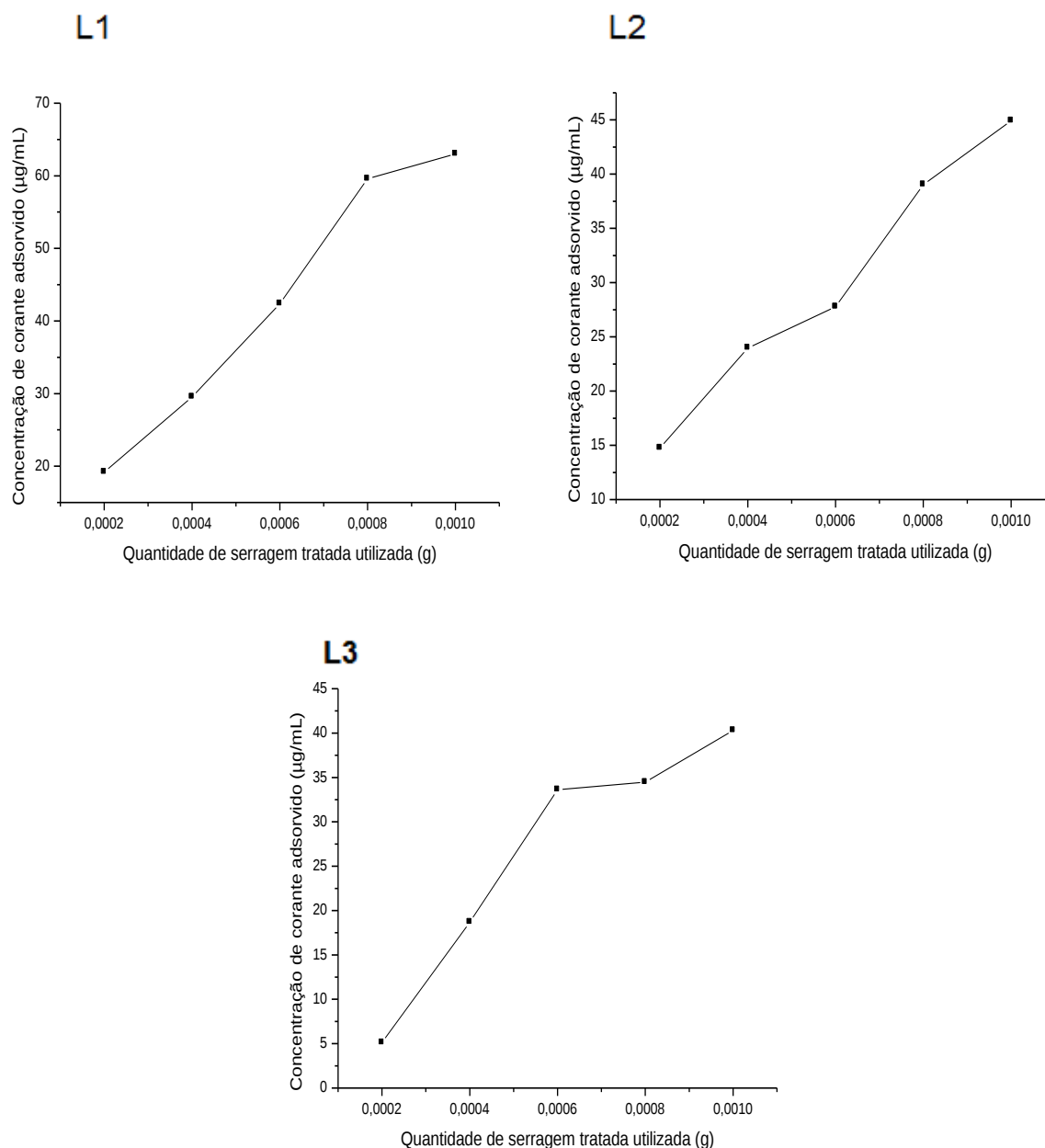


A Tabela 16 apresenta a concentração de corante adsorvido pela serragem, levando em consideração a subtração da concentração inicial de corante com a concentração de corante remanescente encontrada, para os três pH's estudados. Além disso, tem-se na Figura 19 a representação dos gráficos obtidos para as concentrações de corante adsorvido em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Tabela 16. Concentração de corante adsorvido pela serragem tratada com PEI, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 6,50 (µg/mL)
0,0002	19,18	14,74	5,11
0,0004	29,55	23,98	18,69
0,0006	42,37	27,76	33,62
0,0008	59,58	39,04	34,46
0,001	63,01	44,92	40,30

Figura 19. Gráficos L1, L2 e L3 da concentração de corante adsorvido (após adsorção com serragem tratada) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente



Conforme observada a projeção para a remoção total do corante DR23 com a serragem tratada com PEI, levando em consideração cada pH estudado, é mais eficaz para o pH 2,50; onde são necessárias 0,0016 g/mL de serragem tratada, enquanto que para os pH's 4,50 e 6,50 são necessárias 0,0025 e 0,0023 g/mL de serragem; respectivamente, para que ocorra o mesmo tratamento.

5.8. Reta padrão para as Suspensões de células livres

Para a elaboração das retas padrão, realizou-se as suspensões de leveduras nas porcentagens 0,5; 1,0; 1,5%. Para cada percentual foram feitas retas padrão nos três pH's utilizados para os testes neste trabalho, sendo estes 2,50; 4,50 e 6,50.

Essas retas foram construídas a partir de análise em espectrofotômetro UV-Vis à 540 nm, segundo Sumbu et. al. (1983), da seguinte forma como apresenta-se na Tabela 17.

Tabela 17. Protocolo para montagem do teste de estabilidade e reta padrão

Volume de água destilada no pH desejado (mL)	Volume de suspensão de levedura no percentual desejado (mL)	Absorbâncias 540 nm
9,8	0,2	
9,6	0,4	
9,4	0,6	
9,2	0,8	
9,0	1,0	
0	10 - controle 1	
10	0 – controle 2	

5.9. Retas padrão das suspensões de células livres 0,5, 1,0 e 1,5% para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Para que fossem realizados os testes de biossorção com suspensões de células livres foi necessária a construção das retas padrão, conforme observa-se na Tabela 18, para cada suspensão de células livres e em cada pH estudado, a fim de que se fizessem análises estatísticas, comparativas, dentre outras no decorrer dos experimentos.

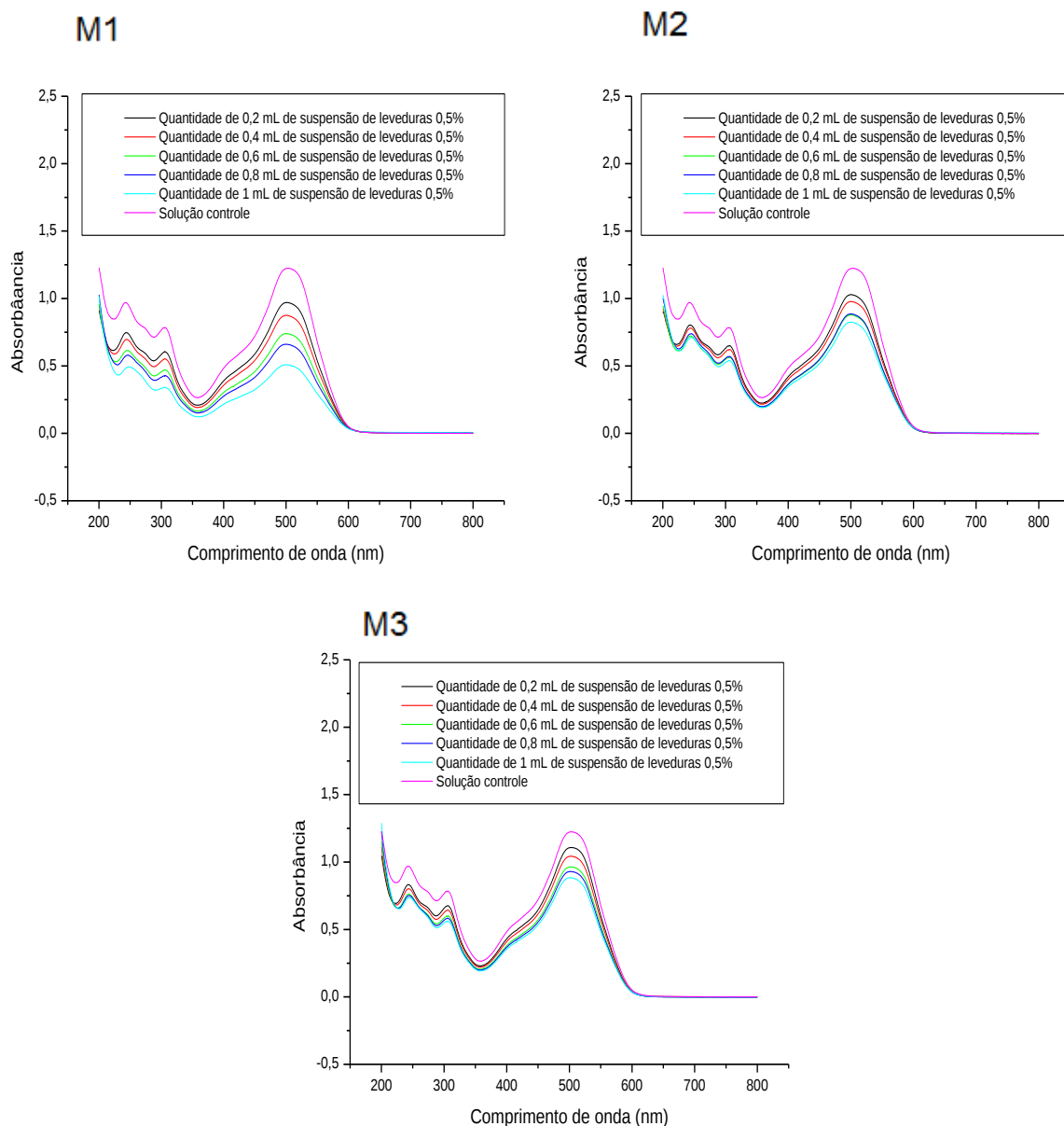
Tabela 18. Retas padrão para as suspensões de células livres 0,5; 1,0 e 1,5%, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, e caminho óptico de 0,5cm, para as concentrações: 20, 40, 60 80, 100 mg/mL

Reta padrão da células livres 0,5% para o pH 2,50	Absorbância 540 nm= 0,0296 +(0,00232* concentração do corante) . R= 0,99163.
Reta padrão da células livres 0,5% para o pH 4,50	Absorbância 540 nm= 0,0151+(0,00308* concentração do corante). R= 0,99097.
Reta padrão da células livres 0,5% para o pH 6,50	Absorbância 540 nm= 0,0345 + (0,00226* concentração do corante). R= 0,99105.
Reta padrão da células livres 1,0% para o pH 2,50	Absorbância 540 nm= 0,03088 + (0,00443* concentração do corante). R= 0,99366.
Reta padrão da células livres 1,0% para o pH 4,50	Absorbância 540 nm= 0,0403 + (0,00453* concentração do corante). R= 0,99493.
Reta padrão da células livres 1,0% para o pH 6,50	Absorbância 540 nm= 0,0107 + (0,00462* concentração do corante). R= 0,99273.
Reta padrão da células livres 1,5% para o pH 2,50	Absorbância 540 nm= 0,0687 + (0,00628* concentração do corante). R= 0,99647.
Reta padrão da células livres 1,5% para o pH 4,50	Absorbância 540 nm= 0,029 + (0,00742* concentração do corante). R= 0,98545.
Reta padrão da células livres 1,5% para o pH 6,50	Absorbância 540 nm= -0,0079 + (0,00737* concentração do corante). R= 0,99555.

5.10. Teste de bio sorção com o corante DR 23 e células de *Saccharomyces cerevisiae* livres 0,5%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50.

A Figura 20 apresenta as varreduras do teste de bio sorção de DR23 utilizando suspensão de células livres como bio sorvente, para cada pH analisado.

Figura 20. Espectros M1, M2 e M3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Suspensão de células livres 0,5%



A Tabela 19 expressa os cálculos obtidos realizando-se a média aritmética para as absorbâncias dos experimentos realizados em duplicata.

Tabela 19. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de células livres 0,5% (mL)	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 2,50	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 4,50	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 6,50
Controle	1,1516	1,1672	1,1859
0,2	0,9648	1,021	1,1055
0,4	0,8679	0,9703	1,0400
0,6	0,7339	0,8704	0,9610
0,8	0,6550	0,8778	0,9261
1	0,5039	0,8172	0,8793

Após este teste as absorbâncias foram comparadas com as absorbâncias obtidas para a reta padrão do DR 23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.

Considerando as equações das retas padrão, vistas anteriormente, pôde-se realizar os devidos cálculos e análises. Desse modo, a Tabela 20 apresenta a obtenção da concentração de corante remanescente, considerando cada teste com as diferentes quantidades de suspensão de células livres adicionadas, para os três pH's estudados.

Tabela 20. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de células livres 0,5% adicionadas ao teste de biossorção, para pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Suspensão de levedura 0,5% utilizada (mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 6,50 (µg/mL)
0,02	84,18	88,64	95,10
0,04	75,97	84,27	89,63
0,06	64,61	76,30	83,03
0,08	57,93	75,66	80,12
0,1	45,12	71,07	76,21

Após encontrar os valores das concentrações de corante remanescente utilizando a equação da reta padrão consegue-se encontrar também, a quantidade de serragem utilizada para que ocorra a remoção total de corante do efluente, através de uma nova reta padrão onde Y corresponde a concentração de corante remanescente e X corresponde a estimativa da quantidade de serragem necessária para determinada concentração.

No pH 2,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 94,41 + (-480,8 * X)$, $R = 0,99607$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,1963$ mL de serragem para remoção total de corante nessa concentração.

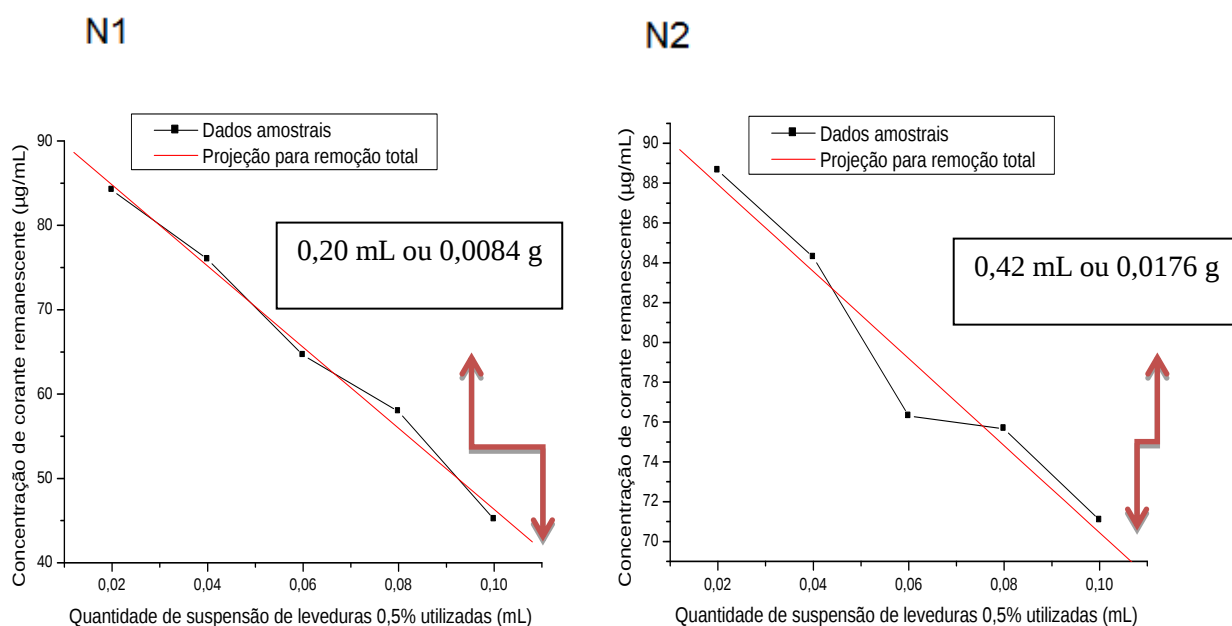
No pH 4,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 92,313 + (-218,75 * X)$, $R = 0,97377$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,422$ mL de células livres para remoção total de corante nessa concentração.

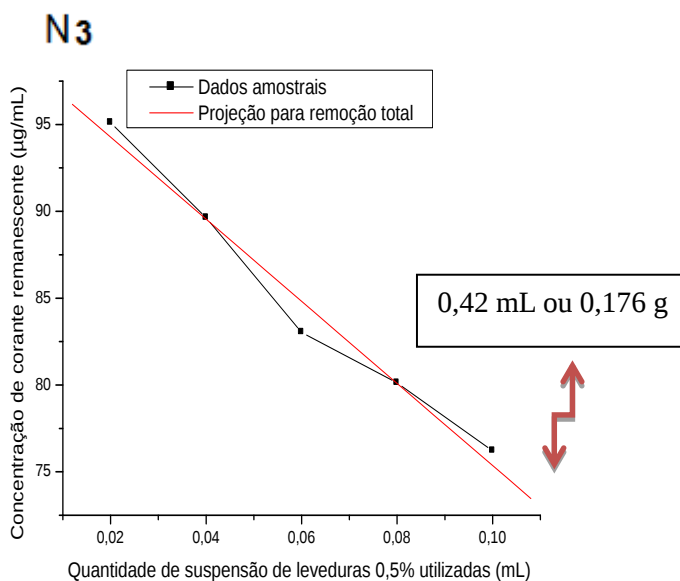
No pH 6,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 99,005 + (-236,45 * X)$, onde $R = 0,98986$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,4187$ mL de células livres para remoção

total de corante nessa concentração.

Para a serragem foram obtidos resultados em gramas por mililitro (g/mL). Para que houvesse comparação dos resultados obtidos da serragem com as suspensões de leveduras, foram transformados os valores estimados para a remoção total do corante, obtidos em mL, para gramas com base na análise do peso seco (Tabela 28). Baseados em cálculos estimados para os valores de remoção total, foram gerados gráficos (N1, N2 e N3), apresentados na Figura 21, os quais fornecem os valores estimados para que haja essa remoção total de DR23. Esses valores equivalem a 0,0084 g; 0,0176 g e 0,0176 g, para N1, N2 e N3; respectivamente. Assim como, para a Figura 24 (gráficos Q1, Q2 e Q3) a remoção total estima a quantidade de 0,0024 g; 0,005 g e 0,008 g de células livres; respectivamente. Finalmente têm-se, para a Figura 27 (gráficos T1, T2 e T3) a quantidade de células livres estimadas para a remoção total de DR23 equivalem a 0,0024 g; 0,009 g e 0,0097 g; respectivamente.

Figura 21. Gráficos N1, N2 e N3 da concentração de corante remanescente (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente



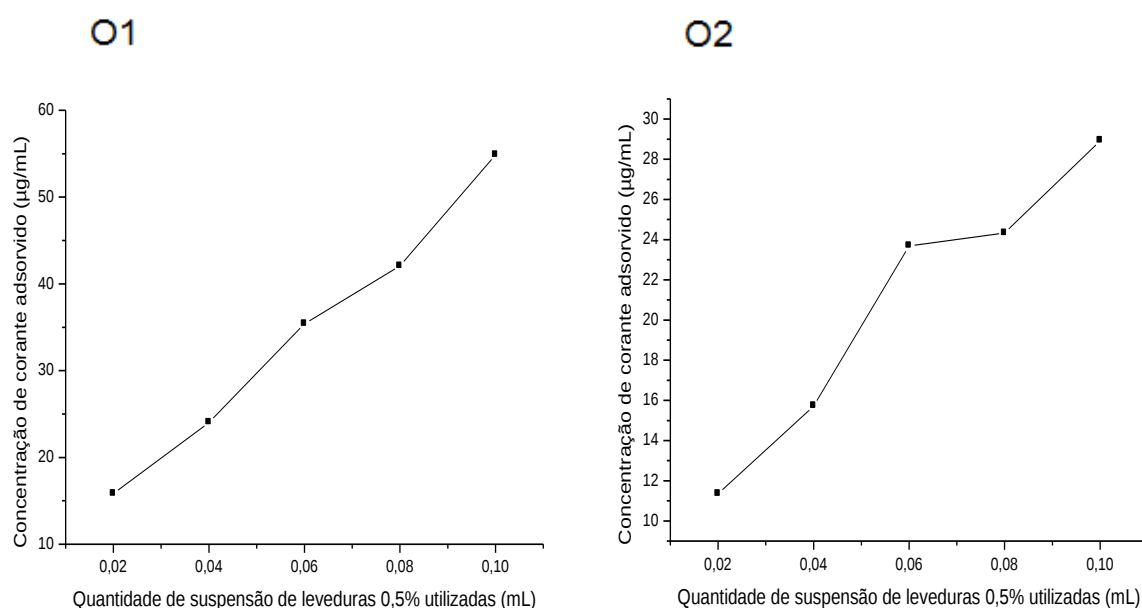


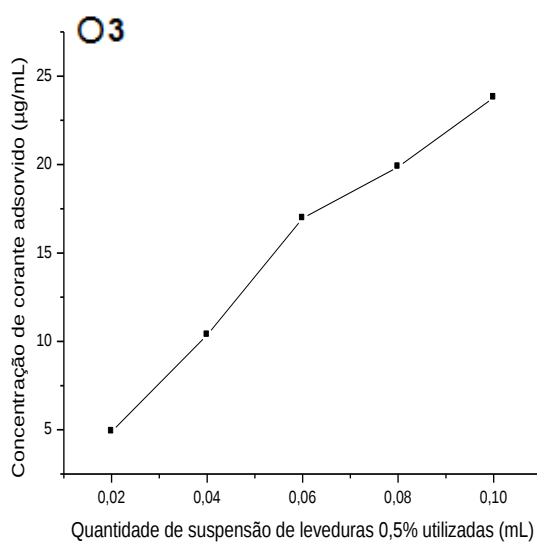
A Tabela 21 apresenta a concentração de corante adsorvido pela suspensão de células livres, levando em consideração a subtração da concentração inicial de corante com a concentração de corante remanescente encontrada, para os três pH's estudados. Além disso, tem-se na Figura 22 a representação dos gráficos obtidos para as concentrações de corante adsorvido em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Tabela 21. Concentração de corante adsorvido pelas leveduras livres 0,5%, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Suspensão de levedura 0,5% utilizada (mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 6,50 (µg/mL)
0,02	15,82	11,35	4,89
0,04	24,03	15,72	10,36
0,06	35,39	23,69	16,96
0,08	42,07	24,33	19,87
0,1	54,88	28,92	23,78

Figura 22. Gráficos O1, O3 e O3 da concentração de corante adsorvido (após biossorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente

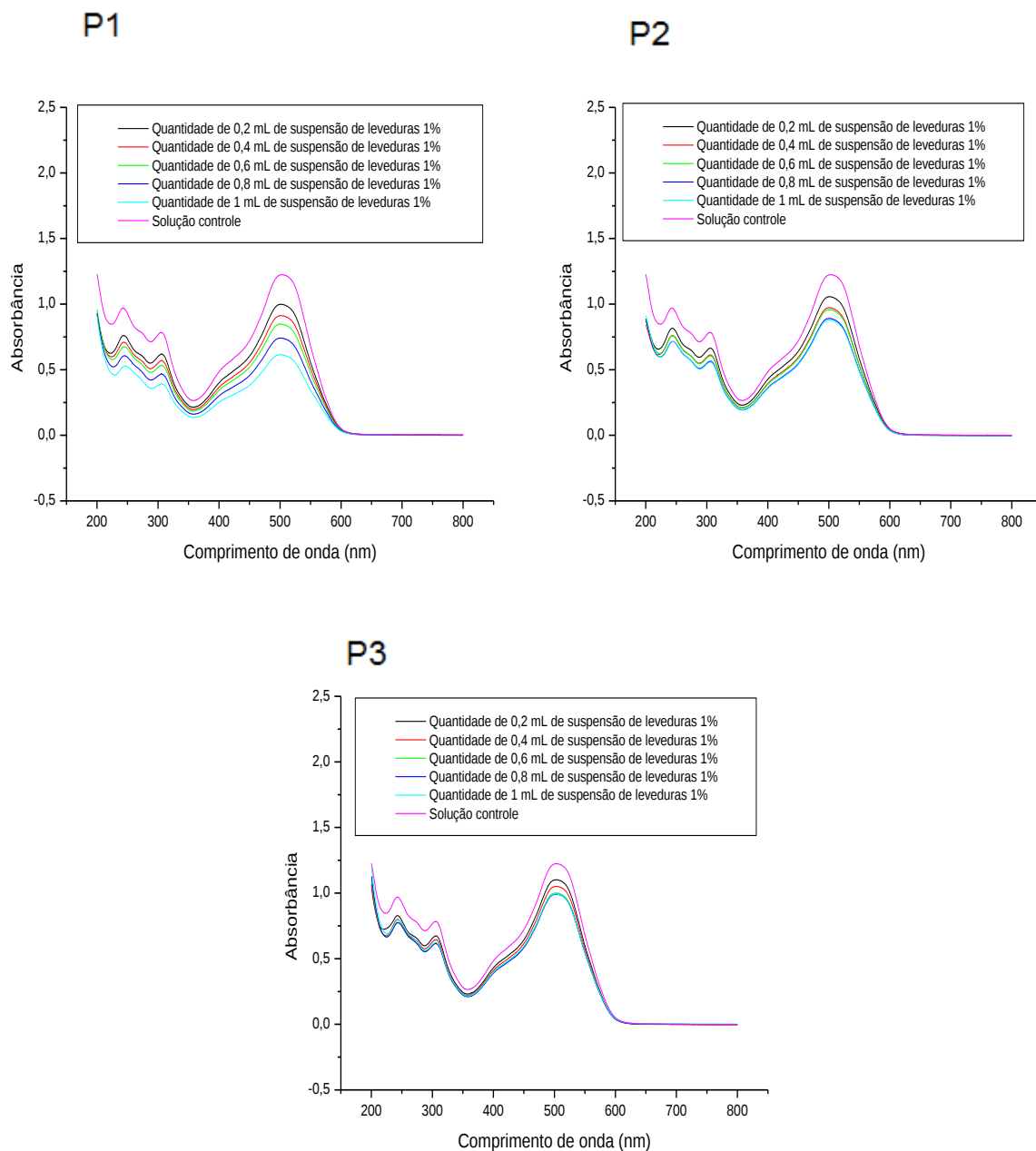




5.11. Teste de bioissorção com o corante DR 23 e células de *Saccharomyces cerevisiae* livres 1,0%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50

A Figura 23 apresenta as varreduras do teste de bioissorção de DR23 utilizando suspensão de células livres como bioissorvente, para cada pH analisado.

Figura 23. Espectros P1, P2 e P3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx.}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Suspensão de células livres 1%



A Tabela 22 expressa os cálculos obtidos realizando-se a média aritmética para as absorbâncias dos experimentos realizados em duplicata.

Tabela 22. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de células livres 1,0% (mL)	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 2,50	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 4,50	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 6,50
Controle	1,1516	1,1672	1,1859
0,2	0,9939	1,0508	1,0987
0,4	0,9078	0,9656	1,0484
0,6	0,8425	0,9514	0,9980
0,8	0,7362	0,8851	0,9903
1	0,6096	0,8732	0,9888

Após este teste as absorbâncias foram comparadas com as absorbâncias obtidas para a reta padrão do DR 23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.

Considerando as equações das retas padrão, vistas anteriormente, pôde-se realizar os devidos cálculos e análises. Desse modo, a Tabela 23 apresenta a obtenção da concentração de corante remanescente, considerando cada teste com as diferentes quantidades de suspensão de células livres adicionadas, para os três pH's estudados.

Tabela 23. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de células livres 1,0% adicionadas ao teste de bioissorção, para pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Suspensão de levedura 1,0% utilizada (mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 6,50 (µg/mL)
0,02	86,65	91,21	94,503
0,04	79,35	83,87	90,33
0,06	73,82	82,64	86,12
0,08	64,81	76,93	85,48
0,1	54,08	75,90	85,35

Após encontrar os valores das concentrações de corante remanescente utilizando a equação da reta padrão consegue-se encontrar também, a quantidade de serragem utilizada para que ocorra a remoção total de corante do efluente, através de uma nova reta padrão onde Y corresponde a concentração de corante remanescente e X corresponde a estimativa da quantidade de serragem necessária para determinada concentração.

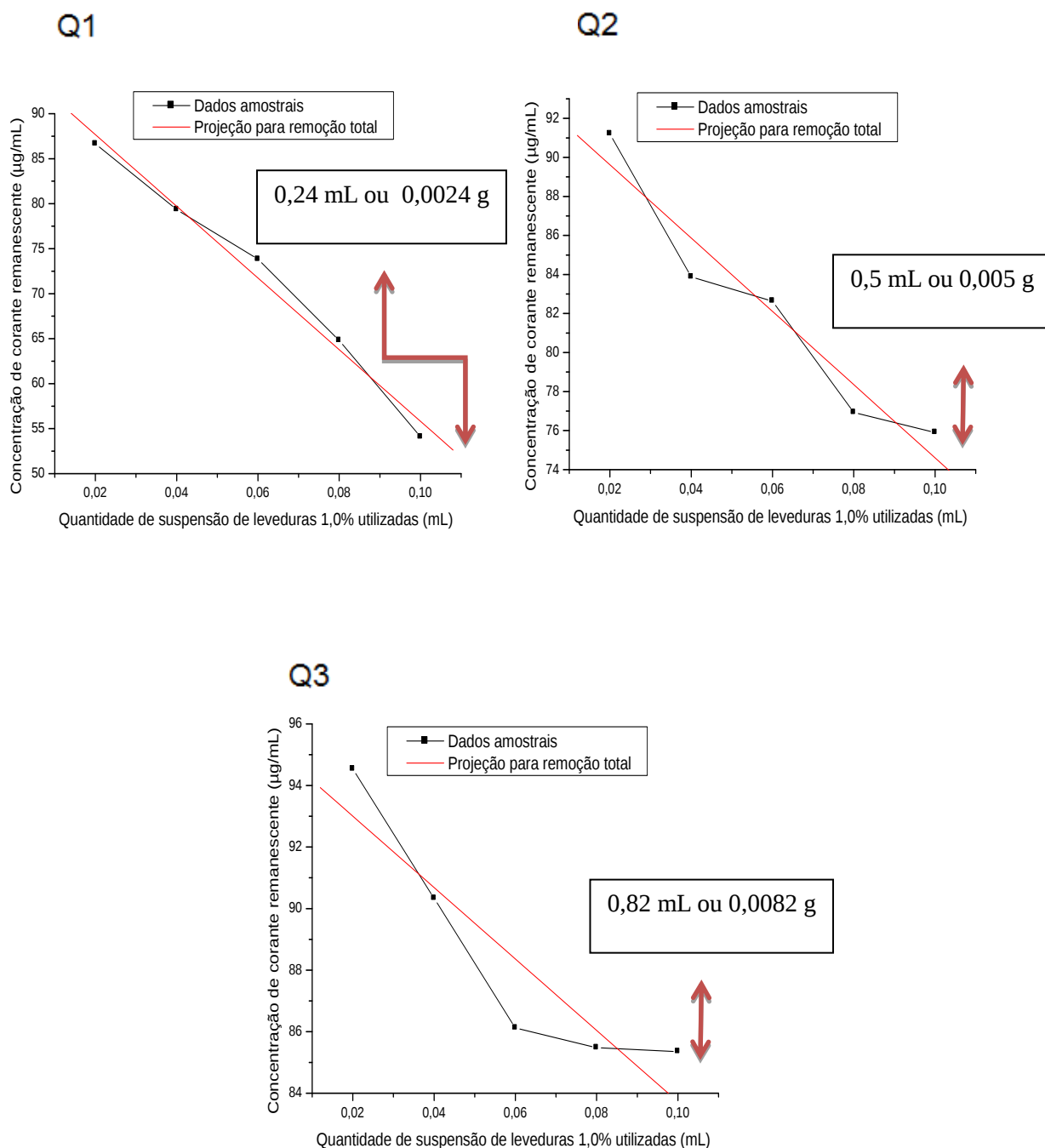
No pH 2,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 95,646 + (-398,4 * X)$, $R = 0,99256$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,2407$ mL de células livres 1% para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 4,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 93,378 + (-187,8 * X)$, $R = 0,96471$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,497$ mL de células livres 1% para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 6,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 95,325 + (-116,05 * X)$, onde $R = 0,91516$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,8214$ mL de células livres 1% para remoção total de corante nessa concentração. Sendo assim, a Figura 24 apresenta os

gráficos de projeção para a remoção total de DR23, gerados a partir dos cálculos anteriores bem como a concentração de corante remanescente em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Figura 24. Gráficos Q1, Q2 e Q3 da concentração de corante remanescente (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente

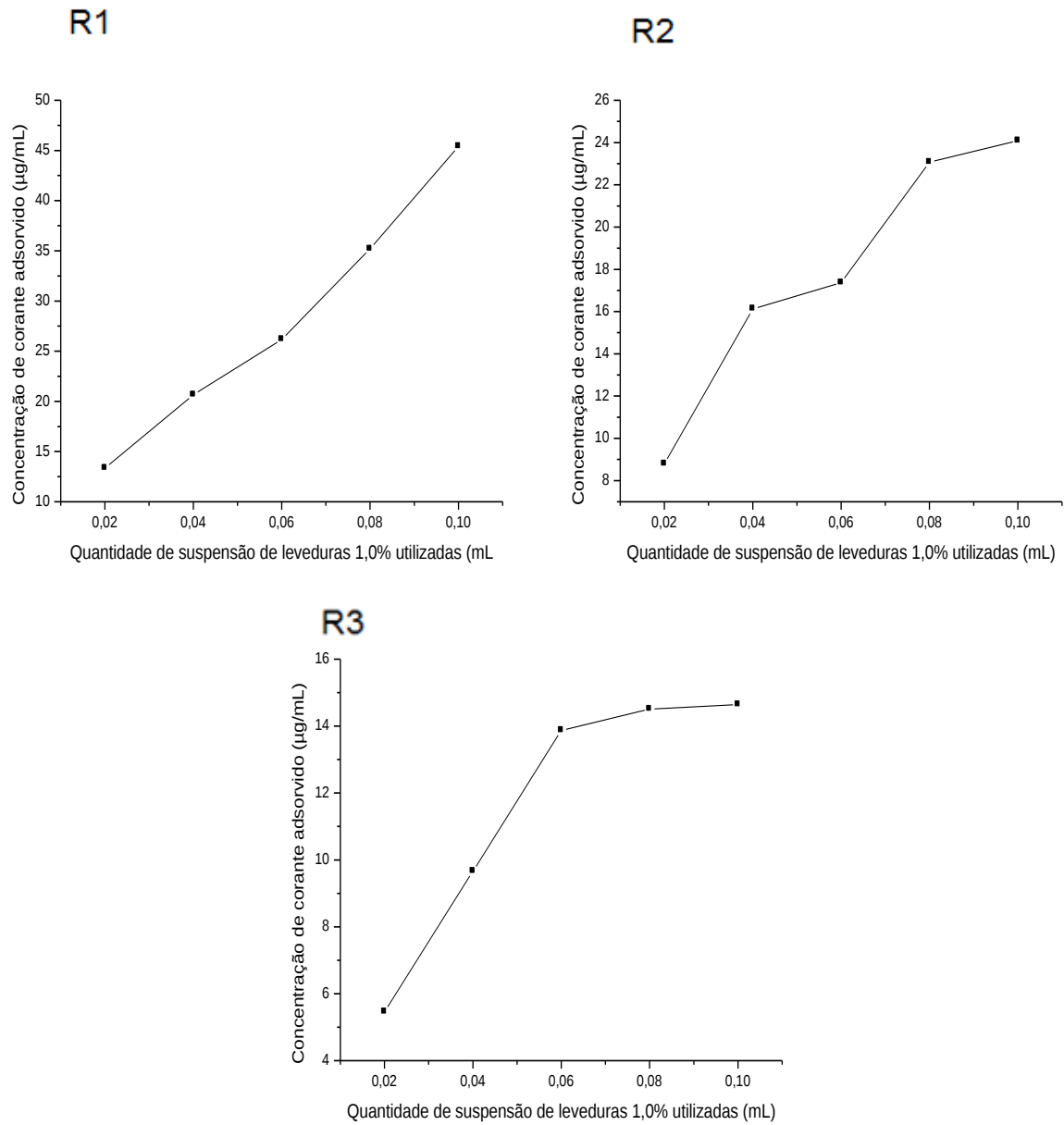


A Tabela 24 apresenta a concentração de corante adsorvido pela suspensão de células livres, levando em consideração a subtração da concentração inicial de corante com a concentração de corante remanescente encontrada, para os três pH's estudados. Além disso, tem-se na Figura 25 a representação dos gráficos obtidos para as concentrações de corante adsorvido em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Tabela 24. Concentração de corante adsorvido pelas leveduras livres 1%, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Suspensão de levedura 1,0% utilizada (mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 2,50 ($\mu\text{g/mL}$)	Concentração de corante adsorvido, para pH 4,50 ($\mu\text{g/mL}$)	Concentração de corante adsorvido, para pH 6,50 ($\mu\text{g/mL}$)
0,02	13,35	8,79	5,46
0,04	20,65	16,13	9,66
0,06	26,18	17,36	13,87
0,08	35,19	23,07	14,50
0,1	45,42	24,09	14,64

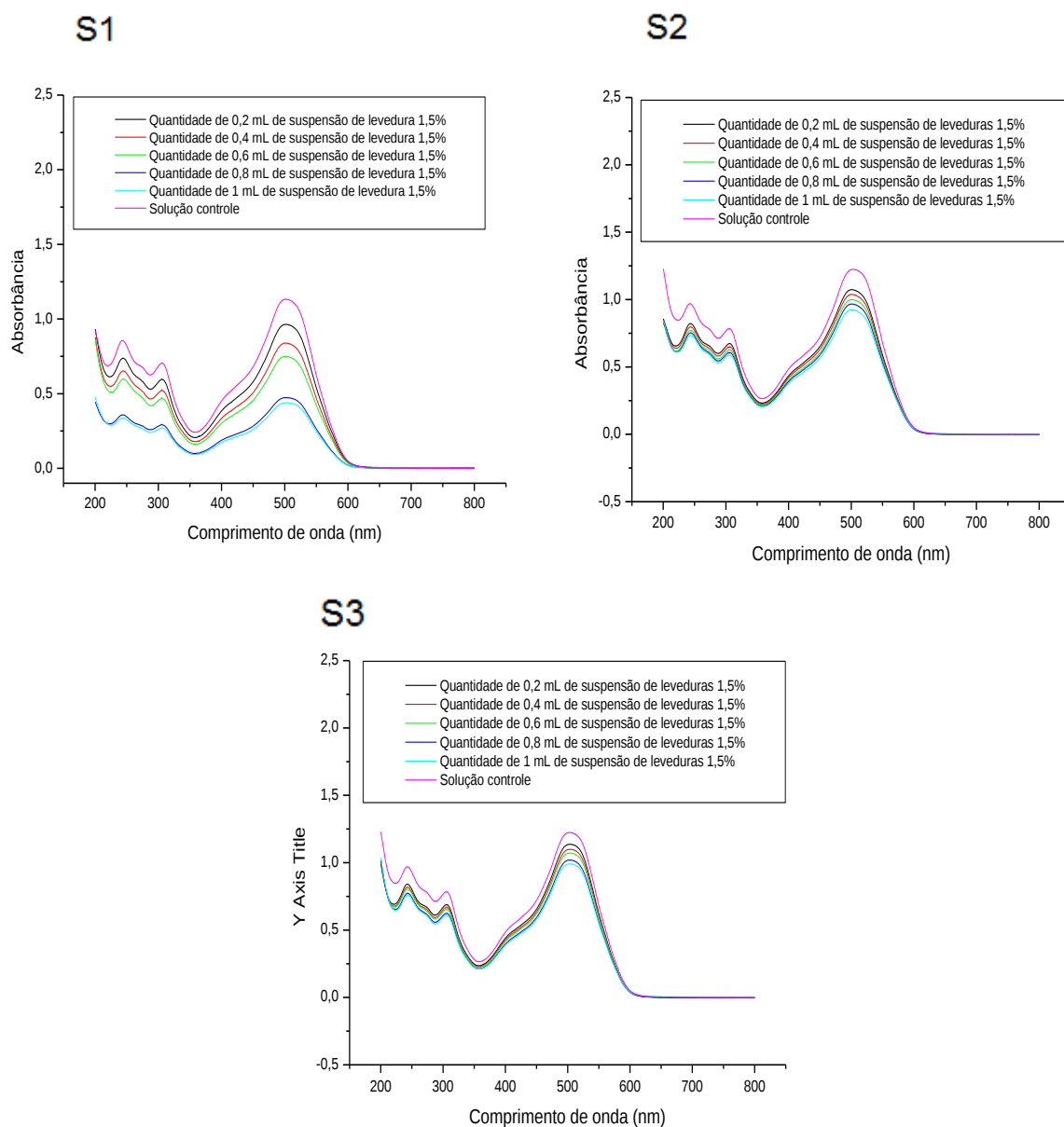
Figura 25. Gráficos R1, R2 e R3 da concentração de corante adsorvido (após biossorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente



5.12. Teste de bio sorção com o corante DR 23 e células de *Saccharomyces cerevisiae* livres 1,5%, para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50

A Figura 26 apresenta as varreduras do teste de bio sorção de DR23 utilizando suspensão de células livres como bio sorvente, para cada pH analisado.

Figura 26. Espectros S1, S2 e S3 de absorção do corante DR23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, $\lambda_{\text{máx}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo, respectivamente. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$. Suspensão de células livres 1,5%



A Tabela 25 expressa os cálculos obtidos realizando-se a média aritmética para as absorvâncias dos experimentos realizados em duplicata.

Tabela 25. Obtenção das absorvâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de células livres 1,5% (mL)	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 2,50	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 4,50	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 6,50
Controle	1,1516	1,1672	1,1859
0,2	0,9601	1,0672	1,1349
0,4	0,8347	1,0322	1,0978
0,6	0,7459	0,9941	1,07
0,8	0,4722	0,9611	1,0175
1	0,4382	0,9185	0,9892

Após este teste as absorvâncias foram comparadas com as absorvâncias obtidas para a reta padrão do DR 23, pH's 2,50; 4,50 e 6,50.

Considerando as equações das retas padrão, vistas anteriormente, pôde-se realizar os devidos cálculos e análises. Desse modo, a Tabela 26 apresenta a obtenção da concentração de corante remanescente, considerando cada teste com as diferentes quantidades de suspensão de células livres adicionadas, para os três pH's estudados.

Tabela 26. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de células livres 1,5% adicionadas ao teste de bioissorção, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Suspensão de levedura 1,5% utilizada (mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 2,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 4,50 (µg/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 6,50 (µg/mL)
0,02	83,78	92,62	97,55
0,04	73,16	89,61	94,45
0,06	65,63	86,32	92,13
0,08	42,44	83,48	87,75
0,1	39,55	79,81	85,39

Após encontrar os valores das concentrações de corante remanescente utilizando a equação da reta padrão consegue-se encontrar também, a quantidade de serragem utilizada para que ocorra a remoção total de corante do efluente, através de uma nova reta padrão onde Y corresponde a concentração de corante remanescente e X corresponde a estimativa da quantidade de serragem necessária para determinada concentração.

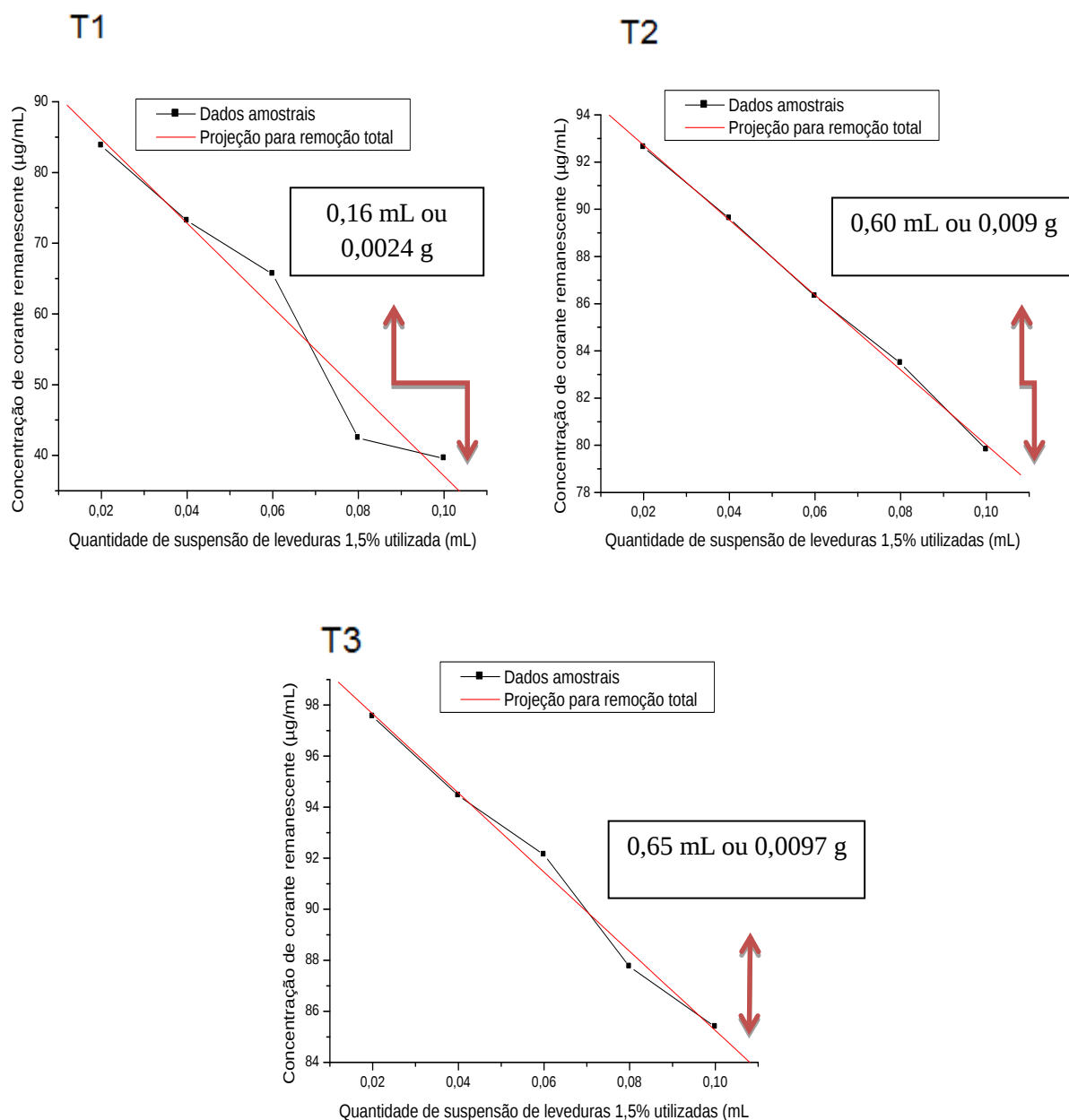
No pH 2,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 96,666 + (-595,9 * X)$, $R = 0,9755$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,1622$ mL de células livres 1,5% para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 4,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 95,893 + (-158,75 * X)$, $R = 0,9993$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,6040$ mL de células livres a 1,5% para remoção total de corante nessa concentração.

No pH 6,50 gerou-se uma reta onde: $Y = 100,76 + (-155,1 * X)$, onde $R = 0,99555$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,6496$ mL de células livres 1,5% para remoção total de corante nessa concentração. Sendo assim, a Figura 27 apresenta os

gráficos de projeção para a remoção total de DR23, gerados a partir dos cálculos anteriores bem como a concentração de corante remanescente em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Figura 27. Gráficos T1, T2 e T3 da concentração de corante remanescente (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente.

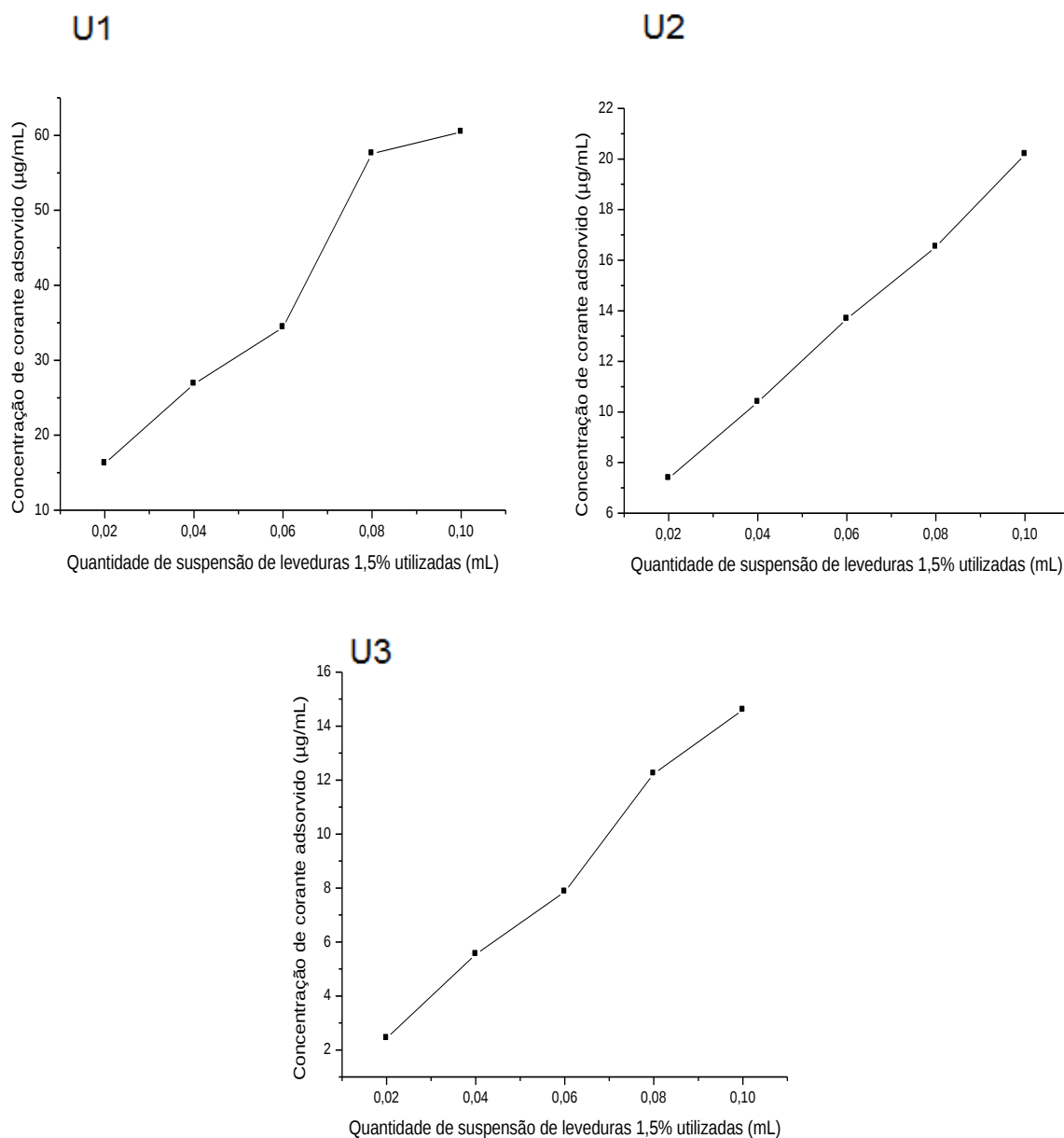


A Tabela 27 apresenta a concentração de corante adsorvido pela suspensão de células livres, levando em consideração a subtração da concentração inicial de corante com a concentração de corante remanescente encontrada, para os três pH's estudados. Além disso, tem-se na Figura 28 a representação dos gráficos obtidos para as concentrações de corante adsorvido em função da concentração inicial de corante, para cada pH.

Tabela 27. Concentração de corante adsorvido pelas leveduras livres 1,5%, pH's 2,50; 4,50 e 6,50

Quantidade de Suspensão de levedura 1,5% utilizada (mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 2,50 ($\mu\text{g/mL}$)	Concentração de corante adsorvido, para pH 4,50 ($\mu\text{g/mL}$)	Concentração de corante adsorvido, para pH 6,50 ($\mu\text{g/mL}$)
0,02	16,22	7,38	2,44
0,04	26,84	10,39	5,54
0,06	34,37	13,68	7,86
0,08	57,56	16,502	12,24
0,1	60,45	20,18	14,60

Figura 28. Gráficos U1, U2 e U3 da concentração de corante adsorvido (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH's 2,50; 4,50 e 6,50, respectivamente



Conforme se pode observar, a projeção para a remoção total do corante DR23 com as suspensões de células livres é relativa, de acordo com o percentual de cada suspensão. Sendo assim para a suspensão de 0,5% nota-se que, para cada pH estudado, a remoção total do DR23 é mais eficaz para o pH 2,50, onde são necessárias 0,0084 g ou 0,2 mL de suspensão de células livres, enquanto que para

os pH's 4,50 e 6,50 são necessárias 0,0176 g ou 0,42 mL, para ambos, a fim de que ocorra a mesma eficácia do tratamento com pH 2,50.

Porém ao analisar os experimentos com a suspensão de células livres 1% nota-se que a projeção para remoção total do DR23 muda, de modo que são necessárias, para todos os pH's, quantidades maiores de suspensão de células livres do que era necessário para a suspensão de 0,5%. Neste caso tem-se que para o pH 2,50 ainda há maior eficácia do processo sendo necessárias 0,0024 g ou 0,24 mL, enquanto que para os pH's 4,50 e 6,50 são necessárias 0,005 g ou 0,5 mL e 0,0082 ou 0,82 mL de suspensão de células livres 1%, respectivamente, para que ocorra a mesma eficácia do tratamento.

Finalmente ao analisar o último percentual de suspensão de células de 1,5% nota-se grande melhora da eficácia do tratamento, porém apenas para o pH 2,50 onde sua projeção para remoção total é de 0,0024 g ou 0,16 mL de suspensão de células. Já para os pH's 4,50 e 6,50 houve piora no processo em estudo, sendo necessários volumes maiores de suspensão de células para esse percentual de leveduras. No caso do pH 4,50 foram necessárias 0,009 g ou 0,60 mL, enquanto que para o pH 6,50 foram necessárias 0,0097 g ou 0,65 mL de suspensão de células livres a 1,5%.

Todos os valores observados mostram-se maiores aos valores estimados para a remoção total de corante utilizando serragem tratada com PEI e inferiores, ou seja, mais eficazes, em relação aos demais. Apesar de tudo, observou-se que o teste de bioadsorção com suspensão de células livres 1,5% no pH 2,50 foi o melhor resultado obtido. Com isso, foi feito apenas um teste piloto de imobilização de *Saccharomyces cerevisiae* para comprovar que o melhor teste de imobilização de células seria feito com serragem tratada com PEI. Para o teste de imobilização, só utilizou-se o percentual de células livres que garantiu o melhor resultado, neste caso a suspensão de células livres 1,5%.

5.13. Análise por peso seco das suspensões de células livres

Simultaneamente ao teste de bioadsorção com leveduras livres, também foi realizado o peso seco das suspensões de leveduras (0,5; 1,0 e 1,5 %) utilizadas,

conforme se observa na Tabela 28, a fim de que se conhecesse e quantificasse a massa de leveduras existentes por mililitro.

Tabela 28. Peso seco para 1 mL das suspensões de leveduras 0,5; 1,0 e 1,5%

Peso seco para suspensões de leveduras 0,5% (1 mL)	Peso seco para suspensões de leveduras 1,0% (1 mL)	Peso seco para suspensões de leveduras 1,5% (1 mL)
17,7200 – 17,7158 = 0,0042 g ou 4,2 mg	15,8478 – 15,8378 = 0,01 g ou 10 mg	19,0716 – 19,0566 = 0,015 g ou 15 mg

A análise de peso seco apresentada acima garante a quantidade de leveduras que há em um mililitro de suspensão. O esperado era que na suspensão de 1,5% apresentasse o triplo do valor da suspensão de 0,5% e a suspensão de 1% apresentasse o dobro da suspensão de 0,5%. De fato isso está provado nas análises do peso seco obtidas.

5.14. Teste de Imobilização de células

Conforme citado, foi realizado um teste piloto de imobilização celular, onde foram utilizados todos os tipos de serratagem, tratada ou in natura, em contato com a suspensão de células livres de maior percentual, ou seja, que garantiu os melhores resultados conforme se nota nos resultados deste trabalho. No mais, os resultados desde teste piloto de imobilização são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29. Teste de imobilização de células, análise do sobrenadante da filtração com leveduras livres (Abs 540 nm)

Abs 540 nm	H₂SO₄	NaOH	PEI	Água + leveduras + serragem in natura	Água + serragem
Células livres 1,5% (mL)					
0,02 g de serragem	0,343	0,093	0,077	0,154	0,07
0,04 g de serragem	0,238	0,061	0,064	0,110	0,08
0,06 g de serragem	0,140	0,042	0,042	0,107	0,016
0,08 g de serragem	0,097	0,041	0,041	0,099	0,018
0,1 g de serragem	0,085	0,041	0,011	0,026	0,022

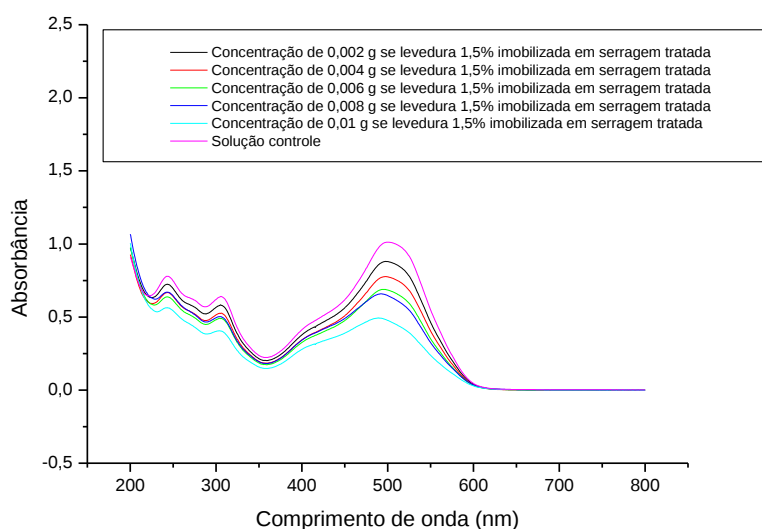
Considerando apenas o teste contendo a maior quantidade de serragem (0,1 g), quantidade essa que foi utilizada para os experimentos, o melhor teste de imobilização foi realizado com serragem tratada com PEI, o qual apresentou os menores valores de absorvância na leitura do sobrenadante que foi filtrado. Em outras palavras tudo que foi filtrado e ficou retido no filtro, combinado a serragem, foi imobilizado. Já o que não foi imobilizado ficou no sobrenadante como células livres, onde obteve-se a leitura das absorvâncias.

Quanto menor o valor da absorvância, menor o número de células livres presentes no sobrenadante, consequentemente, maior taxa de imobilização.

5.15. Teste de bioissorção com células de *Saccharomyces cerevisiae* 1,5% imobilizadas em serragem tratada com PEI, para o pH 2,50

De acordo com a proposta deste trabalho, o teste de bioissorção com levedura imobilizada foi realizado apenas no pH com o percentual de suspensão de leveduras que apresentou os melhores resultados. Neste caso utilizou-se, portanto, o pH 2,50 e as células livres 1,5%. A Figura 29 apresenta a varredura do teste de bioissorção de DR23 utilizando suspensão de células livres 1,5% imobilizada em serragem tratada com PEI como bioissorvente, para o pH 2,50.

Figura 29. Espectro de absorção do corante DR23, pH 2,50, $\lambda_{\text{máx}}$ 507 nm e caminho óptico de 0,5cm, cubeta de quartzo. Concentração inicial de 100 $\mu\text{g/mL}$



A Tabela 30 expressa os cálculos obtidos realizando-se a média aritmética para as absorbâncias dos experimentos realizados em duplicata.

Tabela 30. Obtenção das absorbâncias e de sua média aritmética para possíveis cálculos, pH 2,50

Quantidade de células livres 1,5% imobilizada em serragem (g)	Média aritmética das Abs507 nm, para pH 2,50
Controle	1,1516
0,002	0,8839
0,004	0,7441
0,006	0,6707
0,008	0,6405
0,01	0,4524

Após este teste as absorbâncias foram comparadas com as absorbâncias obtidas para a reta padrão do DR 23, pH 2,50.

Considerando a equação da reta padrão, $Y = - 0,0286 + (0,0118 * X)$, para pH 2,50.

Temos que Y corresponderá ao valor das absorbâncias obtidas para cada tubo de ensaio no teste de bioadsorção, ou seja, Y foi substituído pela média aritmética do valor lido das absorbâncias apresentadas. Ao realizar a substituição, foi encontrado o valor de X que correspondia à concentração de corante remanescente, ou seja, a concentração de corante que, no processo de adsorção, não ficou aderido ao adsorvente. Desse modo, a Tabela 31 apresenta a obtenção da concentração de corante remanescente, baseando-se no cálculo acima.

Tabela 31. Concentração de corante remanescente para determinadas quantidades de células livres 1,5% adicionadas ao teste de biossorção, para pH 2,50

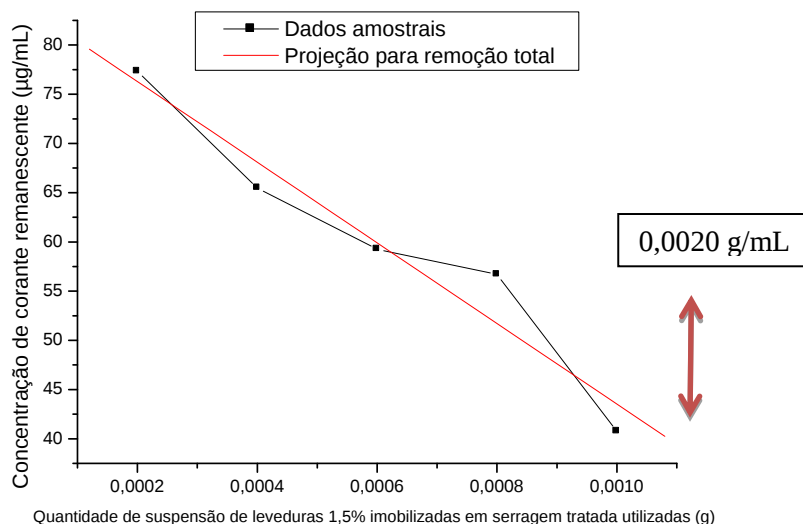
Quantidade de Suspensão de levedura 1,5% imobilizada em serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante remanescente, para pH 2,50 (µg/mL)
0,0002	77,33
0,0004	65,48
0,0006	59,26
0,0008	56,70
0,001	40,76

Após encontrar os valores das concentrações de corante remanescente utilizando a equação da reta padrão consegue-se encontrar também, a quantidade de serragem utilizada para que ocorra a remoção total de corante do efluente, através de uma nova reta padrão onde Y corresponde a concentração de corante remanescente e X corresponde a estimativa da quantidade de serragem necessária para determinada concentração.

Para o único pH testado, 2,50, gerou-se uma reta onde: $Y = 84,482 + (-40960,0 * X)$, $R = 0,97089$. Ou seja: Quando $Y = 0$, $X = 0,0020$ g/mL de leveduras imobilizadas em serragem tratada para remoção total de corante nessa concentração. Sendo assim, a Figura 30 apresenta o gráfico de projeção para a remoção total de DR23, gerado a partir do cálculo anterior bem como a concentração de corante remanescente em função da concentração inicial de

corante.

Figura 30. Gráfico da concentração de corante remanescente (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH 2,50

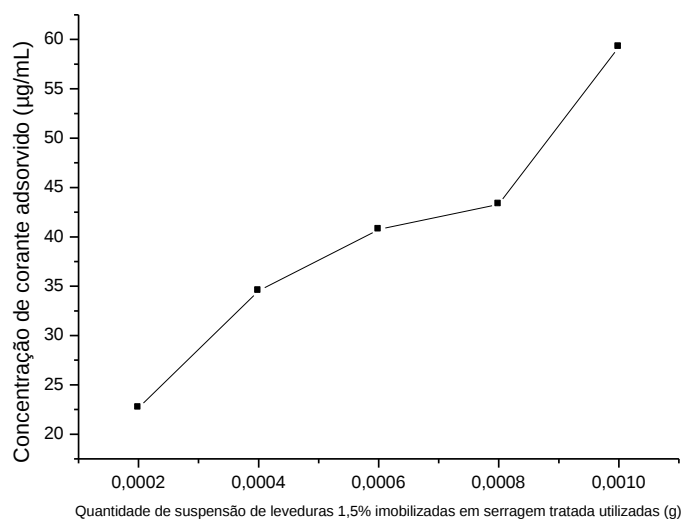


A Tabela 32 apresenta a concentração de corante adsorvido pela suspensão de células livres imobilizada em serragem tratada com PEI, levando em consideração a subtração da concentração inicial de corante com a concentração de corante remanescente encontrada. Além disso, tem-se na Figura 31 a representação do gráfico obtido para as concentrações de corante adsorvido em função da concentração inicial de corante, para o pH 2,50.

Tabela 32. Concentração de corante adsorvido pelas leveduras livres 1,5%, pH 2,50

Quantidade de Suspensão de levedura 1,5% imobilizada em serragem utilizada (g/mL)	Concentração de corante adsorvido, para pH 2,50 ($\mu\text{g/mL}$)
0,0002	22,67
0,0004	34,50
0,0006	40,74
0,0008	43,30
0,001	59,24

Figura 31. Gráfico da concentração de corante adsorvido (após bioissorção) em função da concentração inicial de corante, pH 2,50



5.16. Cálculo da capacidade adsortiva

De acordo com a equação 1, item apresentado, é necessário obter o peso seco do adsorvente a fim de que se possa fazer os devidos cálculos. Como o peso seco foi feito apenas para as leveduras, serão apresentadas neste trabalho apenas a capacidade adsortiva para os testes de bioadsorção com células livres e imobilizadas em serração com PEI. Além disso, a capacidade adsortiva foi calculada para os tubos que possuíam um mililitro, assim como fora feito o peso seco. Baseando-se nisso, foram obtidos resultados da capacidade adsortiva para cada percentual de suspensão de células livres e em cada pH estudado, conforme se nota na Tabela 33.

Tabela 33. Capacidade adsortiva para cada teste de bioissorção

Capacidade adsortiva para células livres 0,5%, pH 2,50.	q = 15*
Capacidade adsortiva para células livres 0,5%, pH 4,50.	q = 4,81
Capacidade adsortiva para células livres 0,5%, pH 6,50.	q = 3,48
Capacidade adsortiva para células livres 1%, pH 2,50.	q = 4,509*
Capacidade adsortiva para células livres 1%, pH 4,50.	q = 2,41
Capacidade adsortiva para células livres 1%, pH 6,50.	q = 1,46
Capacidade adsortiva para células livres 1,5%, pH 2,50.	q = 3,66*
Capacidade adsortiva para células livres 1,5%, pH 4,50.	q = 1,93
Capacidade adsortiva para células livres 1,5%, pH 6,50.	q = 1,59
Capacidade adsortiva para células livres 1,5% imobilizada em serragem tratada, pH 2,50.	q = 3,95

* Melhores valores obtidos, comparando o mesmo percentual de células livres, todos para o pH 2,50.

5.17. Cálculo da porcentagem de descoloração

Conforme já observado, o melhor pH para realização dos testes de bioadsorção foi o 2,50. Portanto os cálculos para porcentagem de descoloração foram feitos apenas para os testes realizados neste pH, afim de se comparar a eficácia, apenas, de cada processo no melhor pH selecionado. A absorbância da amostra, considerada na equação 2, foi aquela obtida para os tubos que continham a maior quantidade de adsorvente, ou seja, que obtiveram o maior grau de remoção e, conseqüentemente, descoloração. Finalmente, os resultados do percentual de descoloração, provenientes dos cálculos, estão apresentados na Tabela 34.

Tabela 34. Porcentagem de descoloração para cada teste de bioadsorção, pH 2,50

Tratamento	% de descoloração
Serragem in natura	48,10
Serragem tratada com H ₂ SO ₄	36,16
Serragem tratada com NaOH	32,25
Serragem tratada com PEI	64,57
Células livres 0,5%	64,54
Células livres 1,0%	47,06
Células livres 1,5%	56,24
Células livres 1,5% imobilizada em serragem tratada com PEI.	60,71

Finalmente, considerando a porcentagem de descoloração tem-se que a suspensão de células livres 0,5% e a serragem tratada com PEI apresentaram os maiores valores (64,57 e 64,54%; respectivamente), enquanto que as células imobilizadas em serragem tratada com PEI apresentaram 60,71% de descoloração. Já a suspensão de células livres 1,5%, apresentaram 56,24% de descoloração.

Pode-se levar em conta que a suspensão de células livres 0,5% teve alta capacidade adsorptiva, podendo-se associar com o alto percentual de remoção de corante, uma vez que a superfície de contato entre as células e corante é maior e otimizada, assim como é numa ação enzimática, por exemplo. Já a serragem tratada com PEI também apresenta a maior taxa de remoção, uma vez que o PEI apresenta, em sua fórmula (Figura 2), muitos grupamentos NH_2 , o que facilita, por estas ligações de hidrogênio, a interação da molécula com a molécula de corante, promovendo sua remoção. Já no caso da suspensão de células livres 1,5% observa-se grande taxa de remoção que se acentua ao imobilizar em serragem tratada com PEI, já que ambos têm potencial altamente capaz de remover o corante DR 23. Pode-se perceber que o potencial de remoção, neste caso, é um pouco menor do que quando a serragem tratada com PEI apresenta-se sozinha, pois ao imobilizar as leveduras em serragem ocorrem interações eletrostáticas, o que diminui um pouco a superfície de contato de ambos os adsorventes.

6. DISCUSSÃO

Existem técnicas simples, e de baixo custo, como a adsorção/biossorção para a remoção de corantes têxteis dos efluentes industriais, que futuramente serão lançados em corpos d'água.

Tanto a adsorção como a biossorção do corante DR23 utilizando serragem in natura e tratada, como adsorvente, bem como células livres nos percentuais de 0,5; 1,0 e 1,5%, além do teste com a suspensão de células 1,5% imobilizadas em serragem tratada, apresentam-se como técnicas potenciais para aplicabilidade e remoção do DR 23 dos efluentes têxteis.

Constatou-se que o corante DR 23 é estável pela análise da varredura espectral que gerou curvas constantes para os pH's 2,50; 4,50 e 6,50; além de observar os valores da inclinação da reta, gerados pela equação das retas para cada pH analisado. Tais valores eram muito próximos comprovando a estabilidade do corante.

Para todos os testes de adsorção/biossorção foi observado que o melhor pH que garantiu maior eficácia do processo de remoção do corante DR 23 foi o 2,50. Isso mostra que talvez, para a aplicação das técnicas de tratamento numa indústria têxtil seria necessário e mais eficaz tratar o efluente em pH ácido (2,50). Porém para lançar nos corpos d'água seria necessário elevar o pH para um pH semelhante a estes, aproximando-se do pH 6,50 ou 7,0. Fu e Viraraghavan (1999) relataram que, na biorremediação, o pH do meio não só afeta a capacidade de biossorção de corante, mas também a solubilidade destes, sendo que a conclusão foi que o pH é um fator importante na remoção de corante

Todavia, não foi apenas no presente trabalho que a remoção de corante de efluentes têxteis apresentou-se mais eficiente em pH ácido. O trabalho relatado por El Rahim et al. (2009) apresenta o potencial de biorremediação de corante têxtil Direct Violet por *Aspergillus niger* em diferentes valores de pH a fim de observar o efeito que o pH tem para a remoção de corantes têxteis dos efluentes. Além disso, avaliaram-se o processo de biossorção e adsorção de corante têxtil, empregando modelos cinéticos. As amostras foram tiradas a intervalos de tempo diferentes depois de 24 e 48 h de incubação para determinar a biomassa e o pH do meio

depois da adição do corante para testar a eficiência de biorremoção. O efeito mutável do pH do meio inicial no intervalo de 2 a 11 para remoção de corante estudado e os outros fatores envolvidos no processo de remoção (temperatura, tempo de agitação, e o tempo de incubação) foram mantidos estáveis. A bioremoção máxima do corante foi obtida em pH 2, em que a porcentagem de remoção foi registrada como 86, 91; 92,48; 93,61 e 98,92% depois de 4, 24, 48 e 72 h de incubação, respectivamente. O artigo comprovou que a bioremoção de Direct Violet atingiu seu máximo com 92,4%, 64,0%, 91,4% e 62,3% em valores de pH de 2, 3, 8 e 9, respectivamente, o que garante uma vantagem para a aplicabilidade industrial porque a indústria têxtil pode utilizar tanto um pH alcalino ou ácido para fins industriais, dependendo da natureza do tecido. Ficou claro que o grau de diminuição do pH era dependente dos valores de pH iniciais. A média inicial de pH 2, 3, 4, 5 diminuíram para valores entre 1,8 -1,9, após 72 h, enquanto que quando o pH do meio inicial era 6, 7, 8 e 9 diminuía para valores entre 2,19 - 2,85. Percebeu-se que o pH inicial de média 2 não se alterou até 24 h, enquanto que o pH do meio inicial 8 diminuiu para um valor de 3,77 após 24 h de incubação. Os autores relatam que estes resultados podem ser atribuídos à produção de ácido orgânico, devido à remoção de corante, a reação da biomassa fúngica com corante, e possível biorremediação de corante no interior da biomassa fúngica pela enzima intercelular. A diminuição do valor do pH no final das experiências pode ser referida a excreção de ácido orgânico pelo próprio fungo.

Alguns outros trabalhos também relatam a otimização do processo de remoção de corantes de efluentes em pH's ácidos, como pôde-se notar no trabalho de Kadpan et al. (2000) que descobriram que o pH ótimo para a descoloração do efluente por um fungo de podridão branca era de pH 4 -5. Nevine (2008), também, descobriu que a remoção de corante reativo foi maior em pH inicialmente baixo e observou que o pH 1 foi o pH ótimo. Rachna e Sumathi (2008) descobriram que o fungo *A. foetidus* foi capaz de proceder à remoção do corante reativo Black 5 (RB5) numa concentração de 100 mg /L, com uma eficiência superior a 99 % em um intervalo de pH 2 - 3. De Angelis e Rodrigues (1987) estudaram o pH ideal para a remoção de azocorante, a uma concentração de 100 mg /L pela levedura *Candida sp.*, sendo que o pH ótimo foi 1,5. Outro trabalho muito interessante foi de Furlan et al. (1998) que utilizaram microesferas de quitosana como material adsorvente para

remover o Corante Reativo Laranja 16 em meio aquoso. Os resultados obtidos indicaram que houve aumento da capacidade de adsorção com a diminuição do pH. Os valores de adsorção foram de 30,4 mg/g a pH 2,0 e 5,6 mg/g a pH 9,5. Explicaram este efeito como sendo atribuído principalmente ao aumento dos grupos NH_3^+ em pH mais baixo, no qual resulta uma maior atração eletrostática entre o corante aniônico e a quitosana.

Em relação ao estudo do presente trabalho, a adsorção apenas utilizando-se serragem, em quantidades gradualmente crescentes, notou-se que a serragem tratada com PEI apresentou potencial de remoção do DR23 maior do que as demais, sendo necessária a diminuição da quantidade de serragem (0,002; 0,004; 0,006; 0,008; 0,01 g de serragem) utilizada em relação aos demais tratamentos, que foram utilizados 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 e 0,1 g de serragem. Mesmo assim a capacidade de biossorção da serragem com PEI foi a melhor do que todas as outras, sendo que para o pH 2,50 eram necessárias apenas 0,0016 g/mL de serragem tratada, para a remoção total de corante.

No tratamento da serragem com ácido sulfúrico e hidróxido de sódio, observou-se que o grau de remoção foi inferior, até mesmo com relação à serragem utilizada in natura.

Portanto, o foco e as análises comparativas englobaram o potencial de remoção do DR23 com serragem tratada com PEI em função das suspensões de leveduras 0,5; 1,0 e 1,5%.

Para o teste de biossorção com células livres de *Saccharomyces cerevisiae*, esperava-se que para todos os casos e percentuais utilizados nos tratamentos fossem apresentados valores e taxas de remoção de corante muito mais eficazes do que a serragem, já que as leveduras estão como células livres e apresentam ampla superfície de contato. Entretanto o uso de células livres de *Saccharomyces cerevisiae* não é tão interessante do ponto de vista da aplicabilidade industrial, já que as células apresentam-se em suspensão (Figura 32) e, ao levar em consideração o tratamento do efluente utilizando este processo, deveria pensar-se na separação dessas células livres do efluente tratado. Algumas maneiras de separação seria a centrifugação ou reator com coluna de imobilização, para a retirada das leveduras em suspensão. Todavia isso levaria ao aumento considerável

no custo do tratamento dos efluentes.

Mesmo assim a técnica da bioadsorção com células livres de *Saccharomyces cerevisiae* ocorreu, porém não de forma mais eficaz do que o processo de adsorção contendo apenas a serragem tratada com o PEI. Possivelmente isto ocorreu porque o PEI confere à serragem alto potencial de adsorção. Isso é extremamente interessante pois, além da serragem ser um resíduo gerado das madeiras e lixamentos, possui grande capacidade de ser utilizada no tratamento de remoção de corantes têxteis.

Alguns artigos abordam a utilização de alguns materiais classificados como resíduos que são utilizados para testes de adsorção e têm garantido bons resultados. Embasados em tais resultados pode-se realizar uma análise comparativa a fim de observar os melhores adsorventes na remoção de corantes têxteis, sendo analisada a sua capacidade máxima de adsorção. Choy et al. (1999) utilizaram como adsorvente o carvão ativado granulado, de origem mineral, para remoção de corantes ácidos de um efluente têxtil. Foram obtidos valores correspondentes à capacidade máxima de adsorção, sendo 101 mg/g para remoção do vermelho ácido, 101 mg/g para o azul ácido e 129 mg/g para o amarelo ácido. Tsai et al. (2001) utilizaram o carvão produzido através do bagaço da cana-de-açúcar, para o estudo da remoção do corante ácido orange 10. O resultado obtido da capacidade máxima adsorvida foi de 5,78 mg/g. Zanotta et al. (1998) avaliaram, comparativamente, a adsorção de Monoclorotriazina em alumina e carvão granular ativado. A adsorção do corante na alumina é muito mais rápida do que sobre o carvão granular ativado, sendo a adsorção máxima de 0,63 e 20,48 mg/g, respectivamente, para monoclorotriazina amarela sobre carvão e monoclorotriazina amarela sobre a alumina. Moraes et al. (1999), estudaram a adsorção de Remazol Black B em cascas de eucalipto e observaram que a capacidade máxima de adsorção foi de 90,0 mg/g. Meshko et al. (2001) avaliaram a capacidade de adsorção de um carvão ativado comercial e de uma zeólita natural utilizando um efluente têxtil sintético contendo uma mistura de corantes básicos (MG-400 e MS-300). A capacidade máxima de adsorção do carvão ativado e da zeólita foi 159 mg/g (MG-400), 309,2 mg/g (MS-300) e 14,9 mg/g (MG-400) e 55,86 mg/g (MS-300), respectivamente. Bonan et al. (2000) utilizaram dois tipos de adsorventes para remoção do corante Remazol vermelho RG, sendo estes o carvão ativo produzido a

partir da casca do coco e a serragem. Obteve-se uma capacidade máxima de adsorção de 11,04 mg/g para o carvão e 2,19 mg/g para a serragem.

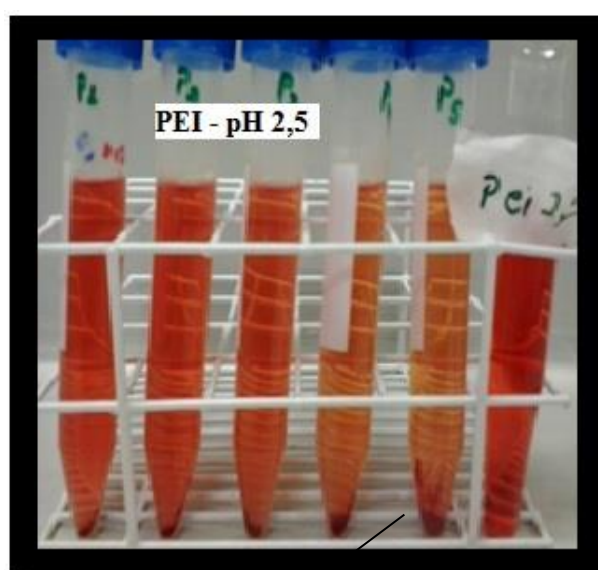
Todavia, para o presente trabalho, é válido lembrar que o tratamento e remoção obtidos com a serragem tratada com PEI foi quase que semelhante àquele realizado com leveduras livres para a suspensão de 1,5%.

A utilização da serragem como adsorvente ou suporte para imobilização de células é muito viável, já que se trata de um resíduo que seria descartado pelas madeiras causando impacto ambiental dentre outros questionamentos. Porém isso pode ter outro destino e garantir a melhora na qualidade ambiental, na remoção de compostos tóxicos de efluentes, contribuindo além de tudo, para o baixo custo do processo. Além disso, a preocupação em separar o efluente tratado do adsorvente utilizado não existiria, uma vez que a granulometria utilizada para o processo estudado é mais densa do que o efluente, conforme nota-se na Figura 33. Ou seja, a serragem decanta naturalmente, facilitando a separação do efluente tratado do adsorvente.

Figura 32. Teste de biossorção com células livres de *Saccharomyces cerevisiae* 1,5% - pH 2,5. Células em suspensão



Figura 33. Teste de adsorção com serragem tratada com PEI 2% - pH 2,5. Decantação natural do adsorvente



Decantação do adsorvente

No entanto, para os testes de bioadsorção com células livres, a suspensão de 1,5% foi mais eficaz, obviamente, porque possuía maior concentração de células livres por mililitro de suspensão, aumentando o potencial de remoção e bioadsorção do corante, onde foram necessários apenas 0,0024 gramas (0,16 mL) para remoção total de corante.

Já no teste de imobilização de células, o qual foi a priori realizado com todos os tipos de serragem, tanto in natura quando as demais tratadas, observou-se que a serragem com PEI foi a que garantiu maior capacidade de imobilização de células, considerando a quantidade de 0,1 gramas de serragem, a qual foi utilizada neste trabalho. Para tanto, também foram realizadas análises por peso seco, onde comprovou-se que 1 mL da suspensão de células livres 0,5% tinha metade da quantidade de leveduras que a suspensão de células livres de 1,0% e por último, tinha um terço de leveduras do que a suspensão de células livres de 1,5% apresentou.

Contudo, uniu-se os dois melhores testes de bioadsorção/adsorção, sendo a serragem tratada com PEI e a suspensão de células livres 1,5%, realizando o teste de imobilização de leveduras em serragem tratada com PEI. Esse procedimento foi realizado a fim de descobrir se a capacidade de remoção do corante aumentaria ou não.

Ficou comprovado que o teste de bioadsorção com levedura imobilizada necessitaria de pouco mais de adsorvente para ter remoção semelhante àquela realizada com serragem tratada com PEI, apenas. Enquanto a serragem com PEI, somente, necessitou-se de 0,0016 g/mL, para o teste após imobilização, foram necessárias 0,0020 g/mL. Isso pode ser explicado porque a imobilização natural é gerada por interações, fazendo com que a superfície de contato seja diminuída. Enquanto a serragem com PEI encontra-se em pó apresenta ampla superfície de contato, mas ao ser adsorvida pelas leveduras, a capacidade adsorptiva é reduzida.

Ainda, analisando a capacidade adsorptiva observa-se que os maiores e melhores valores corresponderam aos testes de bioadsorção/adsorção realizados com o pH 2,50, considerando cada percentual de células livres individualmente. Todavia, ao comparar-se, no geral, os percentuais de células livres, nota-se que à medida que aumenta-se a quantidade de células livres (percentual da suspensão), a capacidade

adsortiva é reduzida. Sendo assim o melhor resultado observado foi com a suspensão de células livres 0,5%, pH 2,50. Isso se dá porque quanto menos adsorvente é adicionado, maior é o contato dele com a suspensão a ser tratada e maior é sua capacidade adsortiva, assim como funciona para a saturação e ação das enzimas.

Contudo, observa-se que a técnica de adsorção de serragem de peroba tratada com PEI e a biossorção com células livres 1,5% foram as mais eficazes para a remoção de corante DR23. O resultado foi surpreendente, uma vez que a serragem é um resíduo de fácil acesso, baixo custo, não causa grandes impactos ambientais, decantaria no fundo de um tanque num processo de tratamento de efluente têxtil, facilitando sua separação do efluente tratado e não envolveria a presença, separação e controle da cultura de micro-organismos, assim como ocorre em outros processos de tratamento. Isso tudo acarretaria em uma grande redução de custos para o tratamento de efluente nas indústrias têxteis e geraria um tratamento altamente eficiente.

Finalmente, após todo o procedimento e experimentação descritos, ainda convém refletir sobre um outro fator que é considerado preocupante: O que fazer com o adsorvente utilizado após o tratamento do efluente têxtil?

Primeiramente é pertinente refletir que para todo processo industrial, algum resíduo ou matéria descartável sempre será gerado. É correto afirmar que cada vez mais as indústrias utilizam sua produção baseando-se na Química Verde, porém ainda não é possível otimizar 100% uma produção ecologicamente correta.

Entretanto, toda metodologia desenvolvida e apresentada neste trabalho é altamente eficaz, do ponto de vista, da melhora da qualidade ambiental e do tratamento de efluentes têxteis, uma vez que grandes volumes de água são tratados, reduzindo demasiadamente o tamanho do problema ambiental. Metaforicamente, é como se um mar de problemas ambientais fosse reduzido a um balde de problemas ambientais. Mesmo assim é pertinente buscar soluções, na tentativa de sanar ainda mais tais problemas.

Primeiramente, pode-se pensar no descarte dos adsorventes utilizados autoclavando-os e incinerando-os, de acordo com as leis ambientais de incineração

de resíduos e materiais, estipuladas pela CETESB e outros órgãos ambientais.

Outra opção de utilização do adsorvente seria adubagem, uma vez que tanto a serragem de peroba como as células de *Saccharomyces cerevisiae* são biomassas frequentemente encontradas no meio ambiente. Deve-se pensar talvez na possibilidade de autoclavar o material e utilizá-los como adubo, por exemplo, para produtos agrícolas não alimentícios, como plantações de eucalipto, dentre outros. O adsorvente em questão serviria de adubo, uma vez que a serragem é um resíduo da madeira e o corante adsorvido é rico em grupamentos amina o qual poderia ser aproveitado pela planta no processo de fixação de nitrogênio. Para isso, seria necessário um estudo que verificasse se é possível, bioquímica e fisiologicamente para a planta, e se não acarretaria nenhum impacto negativo a ela.

Também seria possível pensar na montagem de uma área de hidroponia de algodão, de maneira que a serragem com o corante fossem utilizados na tubulação do circuito de hidroponia, originando um plantio de algodões coloridos para comercialização e até mesmo fabricação de produtos têxteis. Além da hidroponia, a serragem poderia servir como matéria-prima para artesanatos, como por exemplo, decorações de brincos, colagem em tecidos, quadros, artefatos decorativos como aquelas garrafas desenhadas com colagem de areia colorida, porém, utilizando-se a serragem.

Dessa maneira, os problemas ambientais seriam reduzidos, o volume de águas não tratadas, também e a melhora da qualidade ambiental bem como qualidade de vida seriam otimizados.

Contudo, a Figura 32 representa um esquema, simplificado, da aplicação da técnica de remoção do corante DR23 no presente trabalho, onde dispõe-se de um reator ou lagoa de decantação a fim de que o efluente têxtil seja despejado e entre em contato com o adsorvente estudado. Após certo tempo de contato, o adsorvente remove moléculas de corante pelos métodos de adsorção/biossorção e vai decantando no fundo do tanque/reator. Observa-se que a saída do efluente é instalada acima da saída do adsorvente, justamente para haver a separação de ambos.

Figura 34. Esquema simplificado da aplicação da adsorção/biossorção para a remoção de corante.



7. CONCLUSÕES

Conclui-se que o corante DR23 é estável. É possível realizar o tratamento do efluente têxtil contendo o corante sintético DR23 a partir das técnicas de adsorção/biossorção e imobilização de células. O pH que garantiu maior eficácia em quaisquer tratamentos aplicados seja com adsorção em serragem, biossorção com células livres de *Saccharomyces cerevisiae* ou biossorção com células imobilizadas em serragem, foi o pH 2,50. A serragem de peroba é um adsorvente com alto potencial de utilização para remoção do corante DR 23, por adsorção; além de funcionar como ótimo suporte sólido para imobilizar células de *Saccharomyces cerevisiae*. O tratamento da serragem com PEI otimiza e aumenta a eficácia do processo.

Contudo, o teste de biossorção utilizando células livres de *Saccharomyces cerevisiae* também é eficaz, porém garantiu resultados um pouco inferiores aos obtidos com serragem tratada com PEI, que foi o melhor resultado obtido dentre os testes de adsorção/biossorção realizados. A imobilização de células de *Saccharomyces cerevisiae* em serragem tratada com PEI, garantiu resultado intermediário entre a adsorção com serragem tratada com PEI, apenas, e a biossorção com células livres de *Saccharomyces cerevisiae*. Porém a aplicabilidade da biossorção com células imobilizadas é altamente interessante, uma vez que o adsorvente decanta no processo do tratamento do efluente, diminuindo custos e garantindo tratamento eficaz para efluentes têxteis contendo DR23.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. L. C.; SCHONBERGER, H. **Revista Têxtil**, São Paulo: R. da Silva Haydu e Cia Ltda, v. 3, p 100-114, 1995.

AKAR, S. B.; ASLI, G.; BURCU, A.; ZERRIN, K.; TAMER, A. Investigation of the biosorption haracteristics of lead(II) ions onto *Symphoricarpus albus*: Batch and dynamic flow studies. **Journal of Hazard Materials**, 165: 126–133, 2009.

AKSU, Z., DÖNMEZ, G. A comparative study on the biosorption characteristics of some yests for Remazol Blue reactive dye. **Chemosphere**, vol.50, p.1075-1083, 2003.

AKSU, Z.; KARABAYUR, G. Comparison of biosorption properties of different kinds of fungi for the removal of Gryfalan Black RL metal-complex dye. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 7730-7741, 2008.

AL-DEGS, Y.; KHRAISHEH, M. A. M.; ALLEN, S. J.; AHMAD, M. N. Effect of carbon surface chesmistry on the removal of reactive dyes from textile effluent. **Water Research**, v 34, n.3, p. 927-935, 2000.

AMORIM, C.C. et al. Remoção de corantes têxteis através da adsorção em resíduos do alto forno da indústria siderúrgica. Anais In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte –MG, 2007.

ANTUNES, M. L. P. et al. Estudo da utilização de serragem de madeira como adsorvente para tratamento de efluentes têxteis. **Rea – Revista de Estudos Ambientais**. v. 12, n. 2, p. 6-14, 2010.

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. Disponível em:
http://www.abit.org.br/site/texbrasil/default.aspx?id_menu=2&idioma=PT&rnd=20102516254108. Acesso em 10 dez. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos Sólidos - classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004;

AZBAR, N.; YONAR, T.; KESTIOGLU, K.; Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from polyester and acetate fiber dyeing effluent. **Chemosphere**, v. 55, p.35, 2004.

BANAT, I.M., NIGAM, P., SINGH, D., MARCHANT, R. Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: a review. **Bioresource Technology**, v. 58, p. 217-227, 1996.

BARALDI, P. T.; CÔRREA, A. G. O emprego de fermento de pão, *Saccharomyces cerevisiae*, na síntese de feromônios. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p.421-431, 2004.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e Proposta de Tratamento**. Tese (Mestrado). Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

BOLETIM ETAD. Corantes e Meio Ambiente – guia para usuários. **Química Têxtil**. São Paulo, v. 18, p. 22-31, 1995.

BONAN, L. C.; KOROISHI, E.T.; SILVA, C. F. Remoção de corantes de efluentes de indústrias têxteis utilizando diferentes adsorventes. Anais do III Encontro Brasileiro sobre Adsorção, p. 217, 2000.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília – DF, 18.mar.2005, nº 53, Seção 1. p 58-63.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília – DF, 16.mai.2011, nº 92, p 89.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano IV, n. 26, p. 34-39, 1995.

BULUT, Y.; AYDIN, H.; A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells. **Desalination**. 194, pp. 259–267, 2006.

BUMPUS, J. A. Microbial degradation of azo dyes. In Singh, V.P. (Ed.) – Biotransformations: Microbial degradation of health-risk compounds. **Elsevier Science**, Amsterdam, p. 157-175, 1995.

BURGESS, R. R. Use of polyethyleneimine in purification of DNA-binding proteins. **Methods in Enzymology**, v.208, p. 3-10, 1991.

CAIRNCROSS, F. Meio ambiente: custos e benefícios. **Nobel**, São Paulo, p. 269, 1992.

CARVALHO, P. E. R. Peroba-rosa- *Aspidosperma polineyrun*. **Colombo – PR. Embrapa Florestas**, 2004.

CERQUEIRA, W. **Água**. Equipe Brasil Escola. Apresenta textos sobre várias temáticas vinculadas ao ensino desde Artes até Sociologia. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/geografia/agua.htm>. Acesso em 23 de setembro, 2013.

CHANG, C.; YU, R.; CHAO, A.C.; TOJO, S. Online Monitoring and Control of textile Wastewater color removal Process. **Water Science and technology**, v. 30, p. 265, 1994.

CHEUNG, I. H. S.; GISHEN, M.; GHOSH, P. E PAMMANT, N. B. Continuous ethanol-production in an immobilized whole cell fermenter using untreated sugarcane bagasse as carrier. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v.23, n.6,

p.413-416, Mar. 1986.

CHOU, C. C.; JASOVISKY, G. A. Advantages of Ecosorb precoats in liquid sugar production. **International Sugar Journal**, Glamorgan, v.95, n.1138, p.425-430, 1993.

CHOY, K. K.; McKAY, G.; PORTER, J. F. Sorption of acid dyes from effluents using activated carbon. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 27, p. 57-71, 1999.

CIOLO, R. Fundamentos da catálise. **Editora moderna**, São Paulo, 1981.

CORSO, C. R.; ALMEIDA, A. C. M. Bioremediation of dyes in textile effluents by *Apergillus oryzae*. **Microbial Ecology**, v. 57, p. 384-390, 2009.

COSSICH, E. S. **Biossorção de cromo(III) pela biomassa da alga marinha *Sargassum* sp.** Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas, Campinas, 2000.

COUTINHO, L.; SILVA, A. L. G. da; SANTOS, R. M. dos; PAMPLONA, T.; FERREIRA, M. J. B. Design como fator de competitividade na indústria moveleira. Campinas: SEBRAE/FINEP/ABIMÓVEL/FECAMP/UNICAMP/IE/NEIT, 1999.

COVIZZI, L. G.; GIESE, E. C.; GOMES, E.; DEKKER, R. F. H.; SILVA, R. Imobilização de células microbianas e suas aplicações biotecnológicas. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 28, n.2, p. 143-160, jul./dez., 2007.

DALLAGO, R.M., SMANIOTTO, A., OLIVEIRA, L.C. A. Resíduos sólidos de curtume como adsorventes para a remoção de corante em meio aquoso. **Química Nova**, v.28, p. 433, 2005.

DALTIN, D. **Estudo dos parâmetros físico-químicos da estamparia têxtil com corantes reativos visando a substituição dos espessantes nas formulações de tintas.** Dissertação de mestrado. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 140, 1997.

DE ANGELIS, F. E.; RODRIGUES, G. S. Azo dyes removal from industrial effluents using yeast biomass. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 30, p. 301–309,

1987.

DIAS, A. A.; LUCAS, M. S.; SAMPAIO, A.; PERES, J. A.; BEZERRA, R. M. F. Decolorization of Azo Dyes by Yeasts. In: ERKUT, H. A. **Biodegradation of Azo Dyes**. Hidelberg: Springer-Verlag, p. 183-193, 2010.

DOBROVOLSKI, E. G. **Problemas, destinação e volume dos resíduos da madeira na indústria de serrarias e laminadoras da região de Irati-PR**. Ponta Grossa, 1999. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

DOS SANTOS, J. R. A.; GUSMÃO, N. B.; GOUVEIA, E. R. Seleção de linhagem industrial de *Saccharomyces cerevisiae* com potencial desempenho para a produção de etanol em condições adversas de temperatura e de agitação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n. 1, p. 75-80, 2010.

EL-RAHIN, W. M. A.; EL-ARDY, O. A. M.; MOHAMMAD, F. H. A. The effect of pH on bioremediation potential for the removal of the removal of direct violet textile dye by *Aspergillus niger*. **Desalination**, v.249, p. 1206-1211, 2009.

ENVIROMENTAL SAFETY. Disponível em <http://www.journals.elsevier.com/ecotoxicology-and-environmental-safety/>. Acesso em 15 de novembro, 2013.

FACCHINI, J.A. Situação presente do abastecimento e consumo de madeiras duras. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v.7, p.19-24, 1970.

FINCATO, F.; WALBER, M. & SCHNEIDER, I. A. H. Remoção do corante Rodamina B de efluentes do tingimento de ágatas por adsorção na biomassa do macrófito aquático *salvinia* sp.. Anais do II Encontro Brasileiro sobre Adsorção, Florianópolis, SC, p. 357-364, 1998.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos**. Curitiba, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FREEMAN, A.; LILLY, M. D. Effect of processing parameters on the feasibility and operational stability of immobilized viable microbial cells. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 23, n. 5, p. 335-345, 1998.

FU, Y.; VIRARAGHAVAN, T. Publications removal of Acid Blue 29 from an aqueous solution by fungus *Aspergillus niger*. In: N. Nikolaidis, C. Erkey, B. F. Smets (Eds.), Proceedings of the 31st Mid – Atlantic Industrial and Hazardous Waste Conference, Storrs, Connecticut, USA, Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA, p.510–519, 1999.

FURLAN, L.; FÁVERE, V. T.; LARANJEIRA, M. C. M. e DURAN, N. Adsorção do corante C. I. Amarelo Reativo 135 sobre o biopolímero Quitosana. Anais do II Encontro Brasileiro de adsorção, p. 439-447, Florianópolis, SC, 1998.

FURTADO, M. P. Têxtil: beneficiamento lucra com alta tecnologia. **Química e Derivados**, p. 10-16, 1996.

GEMEINER, P.; STEFUCA, V.; BALES, V. Biochemical engineering of biocatalytic immobilized on cellulosic materials. **Enzyme and Microbial Technology**, New York, v.15, p.551-556, 1993.

GOBBI, L. D. Água: Uso e problemas. Disponível em <http://educacao.globo.com/geografia/assunto/geografia-fisica/agua-uso-e-problemas.html>. Acesso em 8 de janeiro de 2014.

GOOGLE IMAGENS. Disponível em https://www.google.com.br/search?q=peroba+rosa&newwindow=1&rlz=1C1AVSX_enBR412BR415&espv=210&es_sm=93&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=IZj5UvLUHcuA0AGXmYCgBA&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1366&bih=643#facrc=0%3Bperoba%20rosa%20arvore&imgcr=_. Acesso em 8 de janeiro de 2014.

GRAU, P. Textile industry wastewater treatment. **Water Science and Technology**, v. 24, p. 97, 1991.

GRUPO DE BIOENERGIA DO IST JOINVILLE. Disponível em <http://grupodebioenergia.blogspot.com.br/>. Acesso em 15 de novembro de 2013.

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

GUOQIANG, D.; LALI, A.; BO-MATTIASON, R. K. Affinity thermoprecipitation of lactate dehydrogenase and pyruvate kinase from porcine muscle using Eudragit bound Cibacron Blue. **Journal of Biotechnology**, v.37, p. 23-31, 1994.

HAGEN, P.; REESE, E.T.; STAM, O. A. Zur reaktion von reaktivfarbstoffen mit cellulose .4. enzymatische hydrolyse reaktiv gefarbter cellulose.13. mitteilung uber textil chemische untersuchungen. **Helvetica Chimica Acta**, 49:2278, 1996.

HOMAGAI, P. L.; GHIMIRE, K. N.; INOUE, K. Adsorption behavior of heavy metals onto chemically modified sugarcane bagasse. **Desalination**, v.101, p. 2067 – 2069, 2010.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de Azadirachta indica como adsorvente**. Dissertação (mestrado em engenharia química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2006.

JIANLONG, W. Biosorption of copper(II) by chemically modified biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. **Process Biochemistry**, vol. 37, p. 847-850, 2002.

JUANG, R. S.; TSENG, R. L.; WU, F. C. Use of chitin and chitosan in lobster shell wastes for colour removal from aqueous solutions. **Journal of Environmental Science and Health A**, vol. 31, no. 2, p. 325-338, 1996.

JUNTER, G. A.; JOUENNE, T. Immobilized viable microbial cells: from the process to the proteome in leader or the cart before the horse. **Biotechnology Advances**, New York, n. 22, n.8, p. 633-658, 2004.

KADIRVELU, K.; PALANIVAL, M.; KALPANA, R.; RAJESWARI, S. Activated carbon from an agricultural by product, for the treatment of dyeing industry waste water. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 263 – 265, 2000.

KADPAN, I. K.; KARGL, F.; McMULLAN G.; MARCHANT, R. Effect of environmental conditions on biological decolorization of textile dye stuff by *C. versicolor*. **Enzyme and Microbial Technology**, v.26, p. 381–387, 2000.

KAGEYAMA, P.Y.; CARPANEZZI, A.A.; COSTA, L.G. da S. **Diretrizes para a reconstituição da vegetação florestal ripária de uma área piloto da Bacia de Guarapiranga**. Piracicaba. Mimeografado. Relatório apresentado à Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, p. 40, 1991.

KAMIDA, H. M.; DURRANT, L. R. Biodegradação de efluente têxtil por *Pleurotus sajor-caju*. **Química Nova**, Piracicaba, v. 28, p. 629 – 632, 2005.

KIMURA, I. Y.; GONÇALVES, Jr. A. C., STOLBERG, J.; LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T. Efeito do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 51-57, 1999.

KOLPIN, D. W., FURLONG, E. T., MEYER, M. T., THURMAN, E. M., ZAUGG, S. D., BARBER, L. B., BUXTON, H. T. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. Streams, 1999-2000: a national reconnaissance. **Environmental Science and Technology**, v. 36, no 6, p. 1202-1211, 2002.

KOROISHI, E. T.; BONAN, A. A.; ANDRADE, C. B.; SILVA, A. F.; SANTOS, W. L. F.; SILVA, C. F. Determinação de isotermas de adsorção de corante têxtil em carvão ativo, serragem e algas marinhas arribadas. **Acta Scientiarum**, v. 22, p. 1185-1188, 2000.

KOURKOUTAS, Y.; MCERLEAN, C.; KANELAKI, M.; HACK, C. J.; MARCHANT, R.; BANAT, I. M.; KOUTINAS, A. A. High-temperature wine making using the thermotolerant yeast strain *Kluyveromyces marxianus* IMB3. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 112, n. 1, p. 25-35, 2004.

KUNZ, A.; REGINATTO, V.; DURAN, N. *Combined treatment of textile effluent using the sequence Phanerochaete chrysosporium-ozone*. **Chemosphere**, v. 44, p. 281, 2001.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURAN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, no. 1, p. 78-82, 2002.

LAMBERT, S. D. GRAHAM, N. J. D., SOLLAR, C. J. e FOWLE, G. D. Evaluation of inorganic adsorbents for the removal of problematic textile dyes and pesticides.

Water Science and Tecnology, v. 36, p. 173-180, 1997.

LEAL, C. C. A. **Avaliação da remoção do corante Remazol Black B em efluentes têxteis utilizando como adsorvente o mesocarpo do coco verde** (Dissertação de Mestrado). Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco, Recife -PE, p. 73, 2003.

LEONAS, K. K.; LEONAS, M. L. Textileprocess Wastewater permits: an update and strategies. **American Dyestuff Reporter**, v. 83, p. 26-34, 1994.

MARCHETTO, M.; FILHO, S. S. F. Interferência do processo de coagulação na remoção de compostos orgânicos causadores de gosto e odor em águas de abastecimento mediante a aplicação de carvão ativado em pó. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 243-252, 2005.

McKAY, G. Colour removal by adsorption. **American Dyestuff Reporter**, v. 69, p. 38-46, 1980.

McKAY, G. Design Models for adsorption systems in wastewater treatment. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 31, p. 717-731, 1981.

MESHKO, V.; MARKOWSKA, L.; MINCHEVA, M.; RODRIGUES, A. E. Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite. **Water Research**, v. 35, no. 14, p. 3357-3366, 2001.

MÉSZÁROS, R.; THOMPSON, L.; BOS, M.; VARGA, I.; GILÁNYI; T. Interaction of sodium dodecyl sulfate with polyethyleneimine: surfactant induced polymer solution colloid dispersion transition. **Langmuir**, v.19, p. 609-615, 2003.

MEYER,V.; CARLSSON, F.H.H.; OELLERMANN,R.A. Decolourization of textile effluent using a low cost natural adsorvent material. **Water Science and Tecnology**, v.26, n.5-6, p.1205-1211, 1992.

MITTER, E. K.; CORSO, C. R. Acid Dye Biodegradation Using *Saccharomyces cerevisiae* Immobilized with Polyethyleneimine-Treated Surgacane Bagasse. **Water Air Soil Pollut**, v. 224, p. 1391, 2013.

MITTER, E. K.; CORSO, C. R. FT-IR Analysis of Acid Black Dye Biodegradation Using *Saccharomyces cerevisiae* Immobilized with Treated Sugarcane Bagasse. **Water Air Soil Pollut**, v. 224, p. 1607, 2013.

MORAIS, L. C.; FREITAS, O. M.; GONÇALVES, E. P.; VASCONCELOS, L. T. e GONZÁLEZ BEÇA, C.G. Reactive dyes removal from waste waters by adsorption on eucalyptus bark: variables that define the process. **Water Research**, v. 33, no 4, p. 979-988, 1999.

MUCCI, E.S.F.; LOPEZ, G.A.C.; MONTAGNA, R.G. Durabilidade natural de madeiras em contato com o solo IV. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. Anais. São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p.558-563. Publicado na Revista do Instituto Florestal, v.4, parte 2, edição especial, 1992.

MURALEEDHARAN, T. R., IYENGAR, L. e VENKOBACHAR, C. Biosorption: an attractive alternative for metal removal and recovery. **Current Science**, vol. 61, n. 6, p 379-385, 1991.

NAM, Y.S., KANG, H.S.; PARK, J.Y.; PARK, T.G.; HAN, S.-H.; CHANG, I.-S. New micelle-like polymer aggregates made from PEI-PLGA diblock copolymers: micellar characteristics and cellular uptake. **Biomaterial**, v. 24, p.2053-2059, 2003.

NASSAR, M.M. e MAGDY, Y.H. Removal of different basic dyes aqueous solution on palm-fruit bunch particles. **Chemical Engineering Journal**, v.66, p.223, 1997.

NEVINE, K. A. Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption on to activated carbons prepared from sugar cane bagasse pith. **Desalination**, v.223, p. 152–161, 2008.

NO, H.K.; MEYERS, S.P. Application of chitosan for treatment of wastewaters. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 1, p. 163, 2000.

OGBONNA, J. C.; TOMIYAMA, S.; TANAKA, H. Development of a method for immobilization of no flocculating cells in loofa (*Luffa cylindrica*) sponge. **Process Biochemistry**, London, v.31, n.8, p737-744, 1996.

OLANDOSKI, D. P. **Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ÖZER, A.; ÖZER, D. Comparative study of the biosorption of Pb(II), Ni(II) and Cr(VI) ions onto *Saccharomyces cerevisiae*: determination of biosorption heats. **Journal of Hazard Materials**, v. 100, p. 219-229, 2003.

PALMA, C.; MOREIRA, M. T.; MIELGO, I.; FEIJO, G.; Lema, J.M. Use of a fungal bioreactor as a post treatment step for continuous decolorization of dyes. **Water Science and Technology**, v. 40, p. 131, 1999.

PAN, L.; KONG, X.; LI, C.; XU, J.; IMANAKA, T. Crosslinking of enzyme coaggregate with polyethyleneimine: A simple and promising method for preparing stable biocatalyst of *Serratia marcescens* lipase. **Journal of Catalysis**, v. 68, p. 256-261, 2011.

PERALTA-ZAMORA, P.; TIBURTIUS, E. R. L.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Degradação

enzimática de corantes têxteis. **Química Têxtil**. v. 68, p. 32-38, 2002.

PORTO, L. C. Ecotêxtil, Informativo eletrônico sobre gerenciamento ambiental na indústria têxtil, 2000. Disponível em <http://www.silvaporto.com.br/eco7.html>. Acesso : julho 2001.

PRASAD, K. K.; MOHAN, S. V.; BHASKAR, Y. V.; RAMANAIAH, S. V.; BABU, V. L.; PATI, B. R.; SARMA, P. N. Laccase production using *Pleurotus ostreatus* 1804 immobilized on PUF cubes in batch and packed bed reactors: influence of culture conditions. **Journal of Clinical Microbiology**, Washington, v. 43, n. 3, p. 301-307, 2005.

PRETORIUS, I.S.; TOIT, M.; RENSBURG, P. Designer yeasts for the fermentation industry of the 21st century. **Food Technology and Biotechnology**, v. 41, n. 1, p. 3-10, 2003.

PROJETO CPRH/GTZ. Roteiro complementar de fiscalização e licenciamento da tipologia têxtil. Recife, p. 110, 2001.

PROJETO CPRH/GTZ. Ecotoxicologia laboratório para análises de toxidadeologia têxtil. Recife, 2001.

RACHNA, P.; SUMATHI, S. Kinetic and equilibrium studies on the biosorption of Reactive Black 5 dye by *Aspergillus foetidus*. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 51–58, 2008.

RAMAKRISHNA, K.R.; VIRARACHAVAN, T. Dye removal using low cost adsorbents. **Water Science and Tecnology**, v.36, p.189, 1997.

ROYER, B. **Remoção de corantes têxteis utilizando casca de semente de *Araucária Angustifolia* como biossorvente**. Dissertação (mestrado em química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2007.

SAFARÍVOKÁ, M.; PTÁCKOVÁ, L.; KIBRIKOVÁ, I.; SAFARÍK, I. Biosorption of water soluble dyes on magnetically modified *Saccharomyces cerevisiae* subsp. Warrum cells. **Chemosphere**, v. 59, p. 831-835, 2005

SANGHI, R.; BHATTACHARYA, B. Review on decolorisation of aqueous dye solutions by low cost adsorbents. **Coloration Technology**. 118, pp 256 – 269, 2002.

SEMINÁRIO de recursos hídricos - Rio de Janeiro 15-16 Julho: BNDES online, 2004. Apresenta discussões e questionamentos relacionados a exploração, consumo e conservação de recursos hídricos. 2004. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/hidrico_9.pdf>. Acesso em: 10 de Setembro de 2013.

SENTHURAN, A.; SENTHURAN, V.; HATTI-KAUL, R.; MATTIASSON, B. Lactic acid production by immobilized *Lactobacillus casei* in recycle batch reactor: a step towards optimization. **Journal of Biotechnology**, v. 73, p. 61-70, 1999.

SILVA FILHO, E.B. Estudo sobre a utilização de lama vermelha para a remoção de corante em efluentes têxteis. **Química Nova**, v.31, p.985, 2008.

SILVA, G.H.; SILVA, G. L.; ABREU, C. A. M.; SILVA, V. L.; MOTTA, M. Estudo da cinética de adsorção de um corante de efluente de indústria têxtil por argilas esmectitas da região do Araripe-PE. Anais In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Mato Grosso do Sul – 2005.

SLOKAR, Y. M.; MAJCENTE MARECHAL, A. Methods of decoloration of textile wastewaters, **Dyes and Pigments**, v. 37, no 4, p. 335-356, 1998.

SOLMAZ, S. K. A.; USTUN, G. E.; BIRGUL, A.; TASDEMIR, Y. Treatability studies with chemical precipitation and ion exchange for an organized industrial district (OID) effluent in Bursa, Turkey. **Desalination**, v. 217, p. 301 – 312, 2007.

SOUZA, J. R. DE MELO; F. DE MELO, M. A.; A. DE MELO, D. M. Clarificação de efluentes da indústria têxtil utilizando vermiculita ativada como adsorvente: Estudo cinético e termodinâmico, Anais do. II Encontro Brasileiro de adsorção, Florianópolis, SC, 1998.

SOUZA, C. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. **Quimica. Nova**, v. 28, p. 226, 2005.

SRIVASTAVA, S. K.; TYAGI, R.; PANT, N & PAL, N. Studies on the removal of some toxic metal ions. Part II (Removal of lead and cadmium by montmorillonite and kaoline). **Environmental Science & Technology Letters**, v. 10, p. 275-282, 1989.

SUMBU, Z. L.; THONART, P.; BECHET, J. Action of Patulin on a Yeast. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 45, n. 1, p. 110-115, 1983.

TSAI, J. H.; CHEN, X. G.; JEYASEELAN, S.; GRAHM, N. Optimising the preparation of activated carbon from digested sewage sludge and coconut husk. **Chemosfere**, v. 44, p. 45-51, 2001.

TOLEDO, R.A. S. Visão do Mercado Têxtil. **Química Têxtil**, v.72, p.8, 2003.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia.**, oitava edição. Porto Alegre – RS: Editora Atmed, 2008. Glossário, p. 853.

UYGUR, A. Reuse of decolourised wastewater of azo dyes containing dichlorotriazinyl reactive groups using an advanced oxidation method. **Coloration Technology**, v 117, p 111-113, 2001.

VALLE, C. E. Qualidade ambiental: como ser competitivo protegendo o meio ambiente, como se preparar para as normas ISO 14000, São Paulo, p. 137, 1995.

VANDEVIVERE, P. C.; BIANCHI, R.; VERSTRAETE, W. Treatment and reuse of Wastewater from the textile wetprocessing industry: review of emerging technologies. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 72, pp. 289-302, 1998.

VAZOLLER, R. F. Biodiversidade: perspectivas e oportunidades tecnológicas, Microbiologia e saneamento ambiental, 2001. Disponível em <http://www.bdt.org.br/publicações>. Acesso em janeiro 2014.

VASUDEVAN, P., PADMAVATHY, V. e CHINGRA, S.C. Knetics of biosorption of cadmium on baker's yeast. **Biosource Technology**, vol. 89, p. 281-287, 2003.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, p. 123, 1991.

VITOR, V.; CORSO, C. R. Decolorization os textile dye bye *Candida albicans* isolated from industrial effluents. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 35, n. 11, p. 1353-1357, 2008.

WANG, H.; WANG, Y.; YAN, H. Binding of sodium dodecyl sulfate with linear and branched polyethyleneimines in aqueous solution at different pH values. **Langmuir**, v. 22, p.1526-1533, 2006.

WINNIK, M.; BYSTRYAK, S.M. Interaction of pyrene-labeled poly(ethylene imine)

with sodium dodecyl sulfate in aqueous solution. **Macromolecules**, v. 32, p. 624-632, 1999.

WON, S. W.; CHOI, S. B.; CHUNG, B. W.; PARK, D.; PARK, J. M.; YUN, Y. S. Biosorptive Decolorization of Reactive Orange 16 Using the Waste Biomass of *Corynebacterium glutamicum*. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 43, p. 7865-7869, 2004.

WU, F. C.; TSENG, R. L.; JUANG, R. S. Pore structure and adsorption performace of the activated carbons prepared from plum kernels. **Journal of Hazard Materials**, v. 69, p. 287-302, 1999.

ZANONI, M.V.B., CARNEIRO, P.A., O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**, v. 29, no 174, p. 61-64, 2001.

ZANOTTA, P. A.; PERUCH, M. G. B.; MOREIRA, R. F. P. M. e PORTO, L. M. Remoção de corantes de efluentes têxteis por adsorção. Anais do II Encontro Brasileiro sobre Adsorção, Florianópolis, SC, p. 475-484, 1998.

ZOLLINGER, H. Color Chemistry: Syntheses, Properties and Aplications of Organic Dyes and Pigments. New York: VCH, 1991.