

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Física

APLICABILIDADE DAS EQUAÇÕES ISOTERMAS DE FREUNDLICH E
LANGMUIR NA INTERAÇÃO BIOSSORTIVA DE CORANTES TÊXTEIS COM
Saccharomyces cerevisiae LIOFILIZADA

Guilherme da Silva Lopes Fabris

Prof. Dr. Carlos Renato Corso

Rio Claro (SP)

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

GUILHERME DA SILVA LOPES FABRIS

APLICABILIDADE DAS EQUAÇÕES ISOTERMAS DE FREUNDLICH E
LANGMUIR NA INTERAÇÃO BIOSORTIVA DE CORANTES TÊXTEIS
COM *Saccharomyces cerevisiae* LIOFILIZADA.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Renato Corso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Física.

Rio Claro - SP

2011

576
F128a

Fabris, Guilherme da Silva Lopes

Aplicabilidade das equações isotermas de Freundlich e Langmuir na interação biossortiva de corantes têxteis com *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada / Fabris, Guilherme da Silva Lopes. - Rio Claro : [s.n.], 2011
88 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Carlos Renato Corso

1. Microorganismos. 2. Adsorção de corantes por materiais de baixo custo. 3. Biossorção. 4. Isotermas de adsorção. 5. Adsorção física. 6. Biorremediação. I. Título.

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

Guilherme da Silva Lopes Fabris

APLICABILIDADE DAS EQUAÇÕES ISOTERMAS DE FREUNDLICH E
LANGMUIR NA INTERAÇÃO BIOSSORTIVA DE CORANTES TÊXTEIS
COM *Saccharomyces cerevisiae* LIOFILIZADA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Física.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Carlos Renato Corso (orientador)

Prof. Dr. Roberto Naves Domingos

Prof. Dr. Gerson Antonio Santarine

Rio Claro, 3 de Novembro de 2011.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

Aos meus amados pais, meus avôs e avós, meus tios, primos e a todos que me ajudaram a vencer mais essa importante fase da vida e que acreditaram sempre em mim.

家族

A minha querida e amada irmã, desde quando nossa mãe disse que estava grávida me faz sempre ter um motivo pelo qual sorrir e lutar pelo futuro.

Ao meu já falecido e amado Vô Benedito, deixo essa singela homenagem:

"Quando vocês acham que as pessoas morrem?

Quando elas levam um tiro de pistola bem no coração?

Não!

Quando são vencidas por uma doença incurável?

Não!

Quando bebem uma sopa de cogumelo venenoso?!

Não!

Elas morrem... Quando são esquecidas."

- Dr. Hiluluk (One Piece— TV Anime)

愛

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que durante todo esse tempo em que eu vivi, ele sempre me mostrou os caminhos, e também que mesmo tendo dificuldades se é possível alcançar os objetivos almejados. Desistir não foi uma palavra ou possibilidade que ele me deu, a única opção dada, foi a de lutar. Mesmo triste sempre algo aparecia para me alegrar, tenho certeza de que era ele que mediava.

Agradeço a minha mãe e meu pai, que sempre se fizeram presentes, que em todos os momentos em que precisei, eles estavam sempre por perto me apoiando. Durante o meu amadurecimento, vocês me proporcionaram uma personalidade e solidez que, eu acho, digna de um filho muito bem criado. Vocês me ensinaram valores como respeito, honestidade, sinceridade e a sempre trabalhar duro para poder usufruir de boas coisas. Aprendi muito com as broncas do papai, e puxões de orelha de mamis ao longo desse tempo e acredito que isso foi muito valioso para a minha formação como ser humano. Espero que eu não dê mais trabalho do que já dei, e quem sabe logo mais terão bastante orgulho de ter um filho cientista, não há dinheiro que superporá a minha alegria. Amo muito vocês, de verdade.

Agradeço a minha irmã, que desde o momento em que foi anunciada a sua fase embrionária, fiquei tão animado que mal podia me conter, fui logo contando para todos os meus amigos da rua, mesmo eu tendo apenas 10 anos na época, e depois do seu nascimento eu não tive nenhum momento de tristeza, a não ser quando adoecia. É muito difícil pensar que não poderei mais tomar conta de você, ainda mais com essa adolescência aparecendo, mas faz parte, quem ficará de cabelos em pé é o papis e mamis. E pensando bem não falei de você apenas quando você estava para nascer, mas até hoje continuo falando. Você não imagina o quão orgulhoso eu estou de ter uma irmã como você. Amo você demais cabeça.

Agradeço a minha avó por sempre ser aconchegante quando volto a minha cidade e sempre preparar aquela comida que eu tanto amo. Obrigado por tudo que a senhora fez por mim e sempre esta a fazer, de coração mesmo.

Agradeço ao professor Corso, que com toda sua sabedoria e paciência, me aceitou como orientando, mesmo sabendo que eu era de um curso 'diferente' e que também tinha algumas dificuldades com a parte teórica e experimental da química. Sempre sendo atencioso quando tinha dúvidas e receptivo quando eu postulava minhas idéias mirabolantes. Sempre achei que seria meio apreensivo um aspirante a físico no meio de vários biólogos, ecólogos e microbiólogos, mas muito pelo contrario tudo foi facilitado pelo mestre, que sempre me passou confiança e hoje estamos mandando vê em nossos projetos. Hoje, vejo que aprendi muito e consigo

observar a vasta possibilidade de aplicação não só da física, mas sim da aplicação dos conceitos em nível multidisciplinar. Muito obrigado por tudo.

Agradeço ao Beto, grande técnico do nosso laboratório, por me guiar e dar idéias quando eu estive meio perdido com o que fazer. Fora as risadas compartilhadas pelo laboratório que sempre foram bem-vindas.

Ao pessoal do laboratório multi: Luana, Ana Laura, Eduardo, Renato, Paulo, Grazy e Érica, vocês fazem da pesquisa uma diversão. Agradeço a amizade de vocês e o apoio. Sem contar nossos diálogos sobre os mais diversos assuntos e risadas. Vocês sem dúvida nenhuma tiveram uma grande contribuição para esse trabalho. A Luana em especial que me guiou no primeiro ano de iniciação científica e que sempre foi paciente e hoje se tornou uma grande amiga, sempre me apoiando. Saiba que sua amizade vale muito para mim. Obrigado mesmo.

Aos meus amigos de Rio Claro: Kaue, Carla, Michelle, Cristiane, Fernanda, Tamires, Fernando, João Gabriel, Júlio, Mateus, Adriano, Alexandre, Camila e muitos outros que fizeram dessa minha jornada em Rio Claro ser agradável e divertida. Cristiane, Michelle e Carla, a amizade de vocês não tem dinheiro que pague. Obrigado por fazerem dos meus dias mais alegres.

Aos meus amigos do Litoral: Alcemir, Jefferson, João (grande Johannes), Bianca, Bruna, Déborah, William, Patrícia, Henrique, Rukita, Tamires, Mirela e muitos outros que por relapso memorial não consegui lembrar. Minha vida jamais teria sentido sem ter conhecido todos vocês, todos vocês sempre me apoiaram e me fizeram rir quando era necessário, nossas lembranças são eternas. Obrigado por fazerem parte da minha vida, vocês são grandes amigos e que jamais serão esquecidos.

Enfim agradeço a todos aqueles que participaram diretamente ou indiretamente desse trabalho e do meu caminho como aspirante a físico, vocês todos merecem minha reverencia e agradecimento nem que seja apenas por ter dito uma palavra que eu precisei ouvir, ou um abraço que precisei sentir, quem sabe até uma 'chamada de atenção'. Acredito que sem vocês isso tudo não teria graça e sentido.

Por fim e não menos importante, muito pelo contrário, agradeço meu avô Benedito, que mesmo não estando mais entre nós, sei que está me observando de algum lugar e sei que um dia irá se orgulhar de mim. Hoje sinto saudades do tempo em que ficávamos sentados no guard rail no fim de tarde até fecharmos o açougue. Sinto saudades do tempo em que compartilhávamos uma cocada ou uma coca quando o senhor chegava do açougue, saudades do tempo em que sentávamos e assistíamos junto com a vó ao programa do Silvio Santos. Agradeço o senhor por ter me dado a oportunidade de conhecê-lo, e pelas lembranças que juntos compartilhamos. Amo muito o senhor, pode ter certeza.

"Ao cientista só é imposta duas coisas obrigatoriamente: a verdade e a sinceridade."

- Erwin Schrödinger

勉強

知識

知恵

"A curiosidade é mais importante do que o conhecimento."

- Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da aplicabilidade das isotermas de adsorção, mais conhecidos como isotermas de Langmuir e Freundlich, na interação bioassortiva entre a levedura *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada e corantes têxteis. Para isto foram preparadas soluções estoques dos corantes têxteis Direct Red 23 e Direct Red 75 nas concentrações de 1.000µg/mL e suspensão de leveduras a 2,5%. Foram feitos experimentos para dois casos, primeiramente para o caso onde tínhamos uma concentração fixa de levedura de 0,500mg/mL e uma concentração variável de corante de 40, 50, 60, 80 e 100µg/mL, em seguida para o caso onde a concentração de corante foi fixada em 100µg/mL e a concentração de levedura variava de 0,250, 0,500, 0,750, 1,000 e 1,250mg/mL. Para o corante Direct Red 23 fizemos análises no pH 2,5, 4,5 e 6,5; já para o Direct Red 75, foi feito apenas para o pH 2,5. Deixamos a solução de corante em contato com a levedura por 2 horas a uma temperatura constante de 30°C e em seguida centrifugamos e analisamos as amostras em um espectrofotômetro e por fim fizemos uma análise da remoção e dos parâmetros para estudo das isotermas. Após a bioadsorção, foi observado que para o Direct Red 23 no pH 2,5 era necessário 1,407mg/mL de levedura para remoção total do corante, enquanto para o pH 4,5 era de 8,806mg/mL e no pH 6,5 era de 9,286mg/mL; para o Direct Red 75 para o pH 2,5 era necessário 1,337mg/mL. Essa diferença pode ser explicada pelas isotermas de adsorção, foi observado que no caso onde a levedura era fixa quando estávamos em um pH ácido o comportamento do sistema era muito compatível com a isoterma de Langmuir, tendo assim, um padrão de monocamada; e que quando diminuimos a acidez do meio o sistema se tornou mais compatível com a isoterma de Freundlich, tendo assim, um comportamento de multicamada; para o caso da levedura variável isso não é tão evidente, entretanto para o pH 2,5 ela se mostrou compatível com a isoterma de Langmuir, quando atingimos o pH 6,5 ela se mostrou obedecer tanto a isoterma de Langmuir quanto a de Freundlich, sendo parecido com o pH 4,5 para o caso da levedura fixa; para o corante Direct Red 75, em ambos os casos no pH 2,5 a isoterma de Langmuir foi muito bem obedecida, já a de Freundlich não demonstrou compatibilidade. As isotermas de Langmuir e Freundlich mostraram-se excelentes para se estudar o comportamento da adsorção entre a parede celular da levedura e as moléculas dos corantes, e então com isso conseguimos entender um pouco mais o funcionamento da bioadsorção e inclusive justificando o porquê da remoção ser alta em um pH ácido e menor em um pH menos ácido. Isso é justificável já que quando o sistema se comporta como monocamada as moléculas ficam compactadas sobre a parede celular, adsorvendo mais; já quando se comporta como multicamada a interação entre as próprias moléculas é maior e ao invés delas serem adsorvidas pela parede celular elas se agrupam entre si.

Palavras-chave: Corantes têxteis. Isotermas de adsorção. Isotermas de Langmuir. Isotermas de Freundlich. *Saccharomyces cerevisiae*. Bioadsorção.

ABSTRACT

This paper presents a study of the applicability of adsorption isotherms, known as Langmuir and Freundlich isotherm, between the biosorptive interaction of yeast lyophilized *Saccharomyces cerevisiae* and textile dyes. To that end, we prepared stock solutions of the textile dyes Direct Red 23 and Direct Red 75 in the concentration of 1.000µg/mL and a yeast suspension at 2,5%. We did experiments for two cases, firstly for the case that we have a fix concentration of yeast at 0,500mg/mL and an variable concentration of dye range from 40, 50, 60, 80 and 100µg/mL, then for the case that we fixed the concentration of dye at 100µg/mL and the yeast concentration was variable range from 0,250, 0,500, 0,750, 1,000, 1,250mg/mL. For the dye Direct Red 23 we did analysis in the pH 2,5, 4,5 and 6,5; for the Direct Red 75, we just did for the pH 2,5. We leave the dye solution in contact with the yeast for 2 hours at a constant temperature of 30°C and then centrifuged and analyzed the sample in a spectrophotometer and finally made an analysis of parameters for the removal and study of the isotherms. After the biosorption, was observed that for the Direct Red 23 in the pH 2,5 was needed 1,407mg/mL of yeast for total removal, while for the pH 4,5 was needed 8,806mg/mL and in pH 6,5 was 9,286mg/mL; for the Direct Red 75 in pH 2,5 was needed 1,337mg/mL. This difference can be explained by the adsorption isotherms, was observed that in the case when the yeast was fix when we had in an acid pH the behavior of the system was compatible with the Langmuir isotherm, and thus, a monolayer pattern. And that when we decrease the acidity of the medium the system became more compatible with a Freundlich isotherm, and thus, a multilayer pattern; for the case that the yeast was variable this is not much evident, however for the pH 2,5 she became compatible with a Langmuir isotherm, when we got the pH 6,5 she became it proved to obey both the Langmuir isotherm and Freundlich isotherm, being similar to the pH 4,5 in case of yeast fixed; for the dye Direct Red 75, in both cases in pH 2,5 the Langmuir isotherm was obeyed, but the Freundlich isotherm just not show as compatible. The Langmuir and Freundlich isotherms showed to be excellent for the study the behavior of adsorption between the yeast cell wall and the dyes molecules, and with it we can understand a little more about the behavior of the biosorption and including justifying why the removal in an acid pH is bigger than a less acid pH. This is justifiable since when the system behaves like a monolayer the molecules are more packaged on the yeast cell wall, adsorbing more, when they behave like a multilayer the interaction between the own molecules are bigger and instead they been adsorbed by the cell wall, they group in themselves.

Keywords: Textile dyes. Adsorption isotherms. Langmuir isotherm. Freundlich isotherm. *Saccharomyces cerevisiae*. Biosorption.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1. Água	4
2.2. Corantes Têxteis	6
2.3. Sistemas de Tratamento de Efluentes	7
2.4. Biossorção.....	9
2.5. Lei de Lambert-Beer	10
2.6. Isotermas de Adsorção	12
2.7. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> liofilizada	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Materiais	15
3.1.1. Vidrarias	15
3.1.2. Equipamentos	15
3.1.3. Reagentes	15
3.2. Preparo da suspensão de <i>S. cerevisiae</i> liofilizada 2,5%	15
3.3. Preparo das soluções estoque de corante	16
3.3.1. Direct Red 23	16
3.3.2. Direct Red 75	17
3.4. Teste de estabilidade dos corantes “Direct Red 23” e “Direct Red 75” em diferentes valores de pH	17
3.5. Retas-padrão	18
3.6. Testes de Biossorção	18
3.6.1. Biomassa fixa e corante variável	19
3.6.2. Biomassa variável e corante fixo	19
3.7. Obtenção da conc. de corante remanescente e adsorvido	20

3.8. Estimativa da remoção total	20
3.9. Aplicação das isotermas	21
4. RESULTADOS	22
4.1. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> liofilizada, microorganismo utilizado como biomassa para efetuar o processo de bioissorção, e sua forma industrializada	22
4.2. Teste de estabilidade e espectros de absorção do corante “Direct Red 23” em diferentes valores de pH, e retas-padrão	24
4.3. Interação entre a <i>Saccharomyces cerevisiae</i> liofilizada e o corante “Direct Red 23” pelo método da bioissorção nos pH’s 2,5; 4,5 e 6,5	32
4.4. Retas de remoção para o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante “Direct Red 23” em solução é fixa em 100µg/mL	37
4.5. Curvas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 23” e a <i>S. cerevisiae</i> liofilizada para o caso onde a biomassa é fíxa e a concentração do corante “Direct Red 23” em solução é variável	42
4.6. Isotermas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 23” e a <i>S. cerevisiae</i> liofilizada para o caso onde a biomassa é fíxa e a concentração do corante “Direct Red 23” em solução é variável	46
4.7. Isotermas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 23” e a <i>S. cerevisiae</i> liofilizada para o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante “Direct Red 23” em solução é fixa em 100µg/mL.....	50
4.8. Teste de estabilidade e espectros de absorção do corante “Direct Red 75” em diferentes valores de pH, e retas-padrão	55
4.9. Interação entre a <i>Saccharomyces cerevisiae</i> liofilizada e o corante Direct Red 75 pelo método da bioissorção no pH’s 2,5	63
4.10. Reta de remoção para o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante “Direct Red 75” em solução é fixa em 100µg/mL	66
4.11. Curvas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 75” e a <i>S. cerevisiae</i> liofilizada para o caso onde a biomassa é fíxa e a concentração do corante “Direct Red 75” em solução é variável	68

4.12. Isotermas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 75” e a <i>S. cerevisiae</i> liofilizada para o caso onde a biomassa é fixa e a concentração do corante “Direct Red 75” em solução é variável	70
4.13. Isotermas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 75” e a <i>S. cerevisiae</i> liofilizada para o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante “Direct Red 75” em solução é fixa em 100µg/mL.....	73
5. DISCUSSÃO	77
5.1. Microorganismo	77
5.2. Corantes utilizados	77
5.3. Obtenção dos espectros de absorção dos corantes	78
5.4. Análise da interação entre a <i>Saccharomyces cerevisiae</i> liofilizada com os corantes “Direct Red 23” e “Direct Red 75”	78
5.4.1. Direct Red 23	78
5.4.2. Direct Red 75	79
5.5. Isotermas de adsorção	80
6. CONCLUSÃO	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

1. INTRODUÇÃO

O problema da poluição ambiental tem caráter mundial e teve origem na revolução industrial, intensificando-se com a explosão populacional humana. Em muitas regiões brasileiras que abrigam pólos industriais e densa população, o meio ambiente vem sofrendo uma degradação efetiva causada pelos esgotos domésticos e industriais, principalmente o ecossistema aquático. Medidas preventivas e corretivas devem ser implantadas concomitantemente aos crescimentos regionais, conduzindo a população a níveis aceitáveis para a manutenção da qualidade de vida (BALAN, 1999).

Hoje existe uma grande preocupação sobre o que fazer com esses problemas, ou ao menos o que fazer para amenizá-los de forma que o meio ambiente seja preservado. Um dos grandes problemas nos quais enfrentamos hoje é o do tratamento dos resíduos químicos despejados pelas indústrias têxteis e as indústrias fabricantes de corantes, nos rios, esgotos, etc.

Entre os mais diferentes tipos de efluentes químicos que são resultantes de diversos setores industriais, aqueles que provêm das indústrias têxteis e das próprias indústrias fabricantes de corantes estão entre um dos mais complicados de

serem tratados. Essa dificuldade vem da origem sintética e de uma composição molecular complexa, o que se faz responsável por tornar-os estáveis e, por conseguinte, ser mais resistente aos processos naturais de biodegradação.

Hoje, a remoção de corantes de forma econômica e eficiente se tornou um estímulo para a produção de pesquisas científicas que proponham soluções que sejam praticas e que de certa forma sejam de fácil aplicação nas indústrias.

Uma técnica muito utilizada e que se mostra bastante eficaz é a da adsorção física. Ela consiste na adesão de moléculas de um líquido ou gás em um sólido, por exemplo, o carvão ativado num filtro de água adsorve algumas substâncias que tenham o carbono como base e também substâncias como o cloro. Entretanto, mesmo sendo um bom adsorvente, ele custa caro e assim inviabilizando a aplicação de grande porte para remoção de corpos d'água.

Uma outra alternativa que temos é a técnica da biossorção. Ela usufrui do fenômeno da adsorção física, mas como sólido adsorvente é usado material orgânico como, por exemplo: serragem, bucha vegetal (*Luffa cylindrica*), fungos, casca de maçã, casca de arroz e assim por diante. Essa técnica é extremamente viável devido ao fato de ela utilizar elementos presentes no nosso dia-a-dia e que são facilmente obtidos, levando a uma grande diminuição do gasto financeiro por parte das indústrias no momento de aplicação do método.

Nesse método da biossorção uma ferramenta de análise muito poderosa, consiste nas isotermas de adsorção. As isotermas de adsorção, ou especificamente, as isotermas de Langmuir e Freundlich, podem nos dizer como se comporta o sistema sólido-líquido, dizendo para nós se o comportamento é do tipo monocamada, onde as moléculas do líquido adsorvem por toda a superfície de um sólido até que se sature, ou do tipo multicamada, onde as moléculas do líquido se aglomeram sobre a superfície do sólido e também interagem entre si. Elas podem também nós ajudar a analisar quais adsorventes têm o maior poder de adsorção e futuramente mostrar uma possível aplicação. Além disso, existem alguns fatores que influenciam na adsorção e que sempre devem ser controlados como, por exemplo: pH, temperatura e concentração de corante ou de biomassa.

Em nosso trabalho, procuramos analisar a aplicabilidade das isothermas de Langmuir e Freundlich utilizando o método da biossorção entre a *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada e alguns azocorantes, e também em um dos casos foi possível estimar a quantidade de biomassa necessária para a remoção total do corante da solução. Observamos como se dá a remoção dos corantes quando interagem com a *S. cerevisiae* liofilizada em uma temperatura fixa e em três pH's distintos, estudando duas situações diferentes, uma na qual deixamos a concentração de corante fixa e variamos a de *S. cerevisiae*, e outra na qual variamos a concentração de corante e fixamos a de *S. cerevisiae*. Esse estudo poderá nos mostrar o quão bom é a possibilidade de aplicação das isothermas de adsorção nesse sistema e nos dizer como é o comportamento da *S. cerevisiae* perante essa mudança de pH's, e assim conseguiremos entender por completo o por que em cada pH a remoção se dá de forma muito diferente.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Água

Na atualidade, a contaminação da água representa um dos grandes problemas da humanidade. Diversos órgãos responsáveis no assunto, como a Sabesp (Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo), estimam que a demanda por água será maior que a capacidade de abastecimento para a população a partir da primeira década do século XXI (ROMANE, 1998).

Números técnicos da ONU (Organização das Nações Unidas) mostram que, para uma comunidade viver com um conforto mínimo, são necessários entre 2000 à 2500 m³ de água per capita/ano. Além disso, a capacidade de abastecimento das principais Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo, como a do Alto Tietê e dos rios Capivari/Jundiaí e Piracicaba, já está seriamente comprometida, não chegando a 250 m³ (ENGENHARIA, 2003).

Os problemas ambientais relacionados com a indústria têxtil são numerosos e bem documentados. Além dos problemas associados ao elevado volume de resíduos e à sua elevada carga orgânica, surgem os inconvenientes relacionados com a liberação de corantes não fixados e não-degradados nos processos

convencionais de tratamento. A presença desses corantes representa um elevado potencial de impacto ambiental, não apenas em função da toxicidade associada, mas também em relação à interferência em processos fotossintéticos (PERALTA-ZAMORA et al., 2002).

Dentro desse contexto, o parque das indústrias têxteis apresenta destaque por gerar alta quantidade de dejetos coloridos por corantes. Muitas vezes, essas substâncias não se fixam nas fibras durante o processo de tingimento, sendo liberados nos processos de lavagem que precedem o despejo. Soma-se a esta problemática a recalcitrância apresentada pelos corantes no meio ambiente, em decorrência de possuírem anéis aromáticos, aminas, grupos sulfônicos e ligações azóicas, que são características que conferem alta toxicidade e lento potencial biodegradativo nos meios naturais (VITOR, 2004).

Um dos grandes problemas dos efluentes têxteis é a presença da cor. Esta cor altera a intensidade com que a luz incide na água e muitas vezes impedindo que a luz chegue até nos locais onde existem processos vitais como o de fotossíntese, afetando todo o sistema aquático. A cor é um dos indicadores mais óbvios da poluição, e a alta descarga de corantes sintéticos pode ser muito prejudicial aos mananciais (NAWAR, 1989 apud NINGAM et al., 1996), pois não prejudica a estética e composições naturais dos rios, mas gera produtos e subprodutos tóxicos e carcino-mutagênicos tanto para os seres vivos aquáticos quanto para o homem (CORSO et al, 1997).

Juntamente à baixa biodegradabilidade dos corantes, os tratamentos biológicos convencionais mostram-se ineficazes. Usualmente, esses efluentes são tratados com métodos físicos e químicos que, apesar de variados, são tecnologias praticamente ineficazes na remoção total da cor, e quando em sua totalidade não removem os subprodutos, são tecnologias extremamente dispendiosas para as indústrias (BANAT et al., 1996; FU; VIRARAGHAVAN, 2001).

2.2. Corantes Têxteis

As colorações orgânicas têm uma longa história junto à humanidade, principalmente quanto à sua utilização para o tingimento de tecidos. A descoberta de

pinturas rupestres, em rochas do Paleolítico, feitas há mais de 30.000 anos na França, por exemplo, e muitas outras evidências comprovam a aplicação desses compostos nos corpos e ambientes das civilizações Pré-histórica e Antiga, como citaram Chippindale e Traçon (1998).

Os corantes orgânicos naturais, constituídos de compostos aromáticos, eram extraídos de plantas, insetos, fungos e líquens, no passado foram extensivamente explorados, até que em 1856, o químico inglês W. H. Perkin sintetizou acidentalmente uma substância com ótimas características coloríficas, a anilina “purple”. Após a síntese da anilina e a descoberta da estrutura molecular do benzeno, realizada por Kekulé, começaram a surgir pesquisas incessantes na busca da síntese de novos corantes. Assim, já nas primeiras décadas do século XX a produção de corantes sintéticos passou a substituir progressivamente a de corantes naturais (WELHAM, 2000).

Todos os compostos aromáticos absorvem energia eletromagnética, mas apenas aqueles que o realizam nos comprimentos de onda entre 350-700 nm são visíveis ao olho humano. A composição química dos corantes constitui-se de um grupo cromóforo (com ligações duplas $-C=C$; $-C=N$; $-C=O$, $-N=N$, $-NO_2$ além dos anéis de quinonas) e de outro denominado auxocromos, estes são doadores ou receptores de elétrons, e possuem o potencial de alterar a configuração de cargas da molécula intensificando a cor do cromóforo ($-NH_3$, $-COOH$, $-SO_3H$ e $-OH$) (ZEE, 2002).

Os corantes estão divididos em aniônicos (diretos, ácidos e reativos); catiônicos (corantes básicos) e não-iônicos (dispersos). A classe de corantes, com maior número de representantes listados no Colour Index (60% a 70%), é a dos azóicos, e sua participação entre os reativos, ácidos e diretos é ainda maior. Pode-se assim supor que, os azóicos constituem a maior parte dos efluentes de indústrias têxteis. Os corantes do tipo azo são resistentes ao ataque microbiano dentro das condições normalmente encontradas nas estações de tratamento (MICHAELS; LEWIS, 1985; PAGGA; BROWN, 1986; SHAUL et al., 1991), além disso seu elevado teor de carga orgânica e sais inorgânicos dificulta a biodegradação (BALAN et al., 2001). Possíveis efeitos genotóxicos dos corantes têxteis azóicos são discutidos frequentemente, que por conterem o grupo azo ($-N=N-$), com a sua quebra podem

formar aminas cancerígenas e genotóxicas (ex. Acid Red 85). O uso destes corantes tem sido reduzido drasticamente na Europa devido às regulamentações nacionais, mas ainda pode ser um problema nos países de outros continentes (SCHNEIDER; HAFNER; JAGER, 2004).

Os corantes ácidos são aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos ($\text{-SO}_3\text{H}$), que lhes conferem afinidade com as fibras protéicas e poliamídicas, solúveis em água, são produzidos na forma de sais sódicos e a sua utilização requer um meio ácido. A sua constituição química é baseada em compostos azóicos, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação (GUARANTINI; ZANONI, 2000).

Todos os anos, cerca de 7×10^5 toneladas são produzidas no mundo (ZOLLINGER, 1987 apud BANAT et al., 1996) e estima-se que 10 a 15% desse total é perdido durante o processo de coloração (VAIDYA e DATYE, 1982 apud NINGAM et al., 1996), constituindo a mais significativa parte da poluição gerada pelo processo têxtil. Mais de 100.000 tipos de corantes sintéticos são utilizados pela indústria e liberados no meio ambiente sem nenhum tipo de cuidado (MEYER, 1981 apud NINGAM et al., 1996).

2.1. Sistemas de Tratamento de Efluentes

Para tratar esses efluentes, segundo Haller (2003), várias etapas são necessárias, incluindo floculação físico-química combinada com flotação, eletrofloculação, floculação com Fe(II)/Ca(OH)_2 , filtração por membrana, coagulação eletrocinética, destruição eletroquímica, troca iônica, irradiação, precipitação e o método que envolve o uso de carvão ativado (Katox) (BANAT et al., 1996). As escolhas de tratamento, segundo os autores, dependem do tipo de efluente a ser tratado, entretanto dessas nenhuma é cem por cento eficientes no caso dos corantes.

Uma das técnicas de remediação está no uso da capacidade adsortiva de certas substâncias e dos mais diversos tipos de biomassa. A adsorção, por materiais como o carvão ativado, foi observada como eficaz, na remoção de alguns tipos de corante, porém seu custo impossibilita a sua aplicação em larga escala. Muitas

pesquisas foram feitas para encontrar substituintes de baixo-custo como a turfa, cinzas, sílica, serragem e outros tipos de biomassa com alguma afinidade química com os corantes (EL-GEUNDI, 1991; RAMAKRISHNA; VIRARAGHAVAN, 1997). No entanto esses adsorventes têm uma capacidade menor quando comparada ao carvão ativado, e para se compensar isso, seria necessário grandes quantidades para o tratamento, o que limitaria o seu uso.

Em geral, na indústria têxtil os processos de tratamento estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de precipitação-coagulação, seguidos de tratamento biológico via sistema de lodos ativados. O sistema apresenta uma eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes. Infelizmente, o problema relacionado com o acúmulo de lodo torna-se crítico, uma vez que o teor de corantes adsorvido é bastante elevado, impedindo qualquer possibilidade de reaproveitamento (KUNZ et al., 2002).

No caso dos tratamentos biológicos, procura-se imitar o metabolismo de estabilização dos seres vivos existentes nos rios e lagoas, que transformam a carga orgânica dissolvida em material celular. O que acontece com os rios é que o excesso de matéria orgânica tende a eliminar os seres aeróbios. As estações de tratamento tentam evitar que isso ocorra, removendo a carga de nutrientes com diferentes técnicas (VITOR, 2005).

Segundo Guarantini e Zanoni (2000) o tratamento eficiente das águas de rejeito da indústria têxtil requer programas de investimento a longo prazo e alto custo. A implantação destes sistemas necessita de trabalho substancial de engenharia civil com plantas de grandes áreas de construção e altos investimentos. É importante salientar que a adequação de qualquer um dos métodos de tratamento escolhido para degradação do corante será muito mais efetivo, mais fácil e mais barato, se realizado na estação de tratamento da indústria, isto é, antes de atingir os mananciais. O aumento da diluição destes compostos na presença de outras descargas de origem industrial e doméstica em sistemas de esgoto comum exigiriam procedimentos muito mais drásticos, sensíveis e caros para identificação e remoção específica destes corantes.

2.2. Biossorção

Para células vivas, há dois mecanismos através dos quais os microorganismos podem retirar a cor do efluente: a biodegradação e a biossorção. A primeira realiza-se por meio da utilização de enzimas que atacam e desfazem as ligações químicas mais importantes dos corantes (para que o corante possa ser utilizada como fonte alternativa de carbono); já a segunda ocorre pela retenção das moléculas do corante na parede celular do microorganismo (MOU et al., 1991). Para as células mortas, o mecanismo também é o da biossorção, envolvendo interações físico-químicas tais como adsorção, a deposição e troca iônica (FU; VIRARAGHAVAN, 2001). Assim, o termo biossorção é utilizado para explicar os fenômenos de remoção de moléculas consideradas tóxicas de soluções aquosas, por adsorção à parede celular dos microorganismos ou pela absorção intracelular destas substancias e que venham a ter afinidade com organelas ou estruturas existentes dentro da célula (CORSO, 1998).

As leveduras têm sido utilizadas para os processos biossortivos por apresentarem características desejáveis, tais como altas resistências mecânicas e osmóticas (TRINDADE, 1986).

AKSU (2001) estudou a biossorção de corantes reativos (Reactive Blue 2-RB2 e Reactive Yellow 2-RY2) por lodo ativado seco. Neste estudo a capacidade de adsorção do corante no biossorvente foi mostrada em função do pH inicial, concentração de corante inicial e tipo de corante. Os dados de equilíbrio ajustaram-se bem para ambos os modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich. Os resultados mostraram que a biossorção obedeceu a cinética de adsorção de segunda – ordem e que o lodo ativado tem alta capacidade de biossorção para ambos os corantes.

A fim de descobrir se apenas há a ligação externa da membrana com o corante ou se há a sua internalização, Brahimi-Horn et al. (1992) estudaram a compartimentalização das células e observaram as células intactas e não-intactas, concluindo que depois de 24 horas a biossorção era maior no caso das células com membrana intacta. Isso sugere que a integridade da célula é importante para manter sua capacidade de reter o corante.

Zeroual et al. (2006) com o objetivo de comparar características biossorbitivas de certos fungos com o corante azul de bromofenol em soluções aquosas, em diferentes intervalos de tempo fizeram análises espectrofotométricas e também avaliaram os diferentes aspectos da biossorção por isothermas de Langmuir e Freundlich. Concluíram que a taxa de biossorção é dependente do pH da solução, sendo que todas as cepas fúngicas estudadas obtiveram melhor desempenho de biossorção em pH 2,0, e que o modelo de Langmuir pareceu mais adequado para descrever a biossorção do corante que o modelo de Freundlich.

2.3. Lei de Lambert-Beer

Quando a radiação eletromagnética luminosa atinge uma certa substância, muitas coisas podem acontecer. A radiação que incide na substância pode sofrer reflexão, refração, espalhamento ou então ser absorvida. A partir disso resulta que apenas uma parte da radiação que incide é transmitida através da substância

Esse processo de absorção ocorre em nível moléculas, de modo que, assim como acontece em um átomo, cada molécula se caracteriza por possuir níveis de energia moleculares quantizados, os quais podem ser ocupados pelos elétrons das moléculas. Observando de outra forma, a radiação vem intrinsecamente ligada a energia, e o valor dessa energia dependem do comprimento de onda da radiação. O fenômeno da absorção da radiação acontece quando a energia que ela transporta é igual a diferença entre dois níveis de energia da molécula; nessa situação, a energia da radiação é 'transferida' para a molécula e ocorre o fenômeno chamado de absorção da radiação.

Como as moléculas de substâncias diferentes têm níveis moleculares de energia diferentes, cada substância absorve então a radiação de maneira diferente, mas especificamente, os comprimentos de onda que certa substância absorverá são característicos de sua estrutura e outras substâncias absorverão em outros comprimentos de onda. Se fizermos medidas da intensidade da luz absorvida por uma substância em função dos comprimentos de onda da radiação, estaremos obtendo uma curva conhecida como espectro de absorção da substância que seria uma 'impressão digital' da substância. Como cada substância tem seu espectro

característico, podemos então se precisarmos, identificar uma substância desconhecida através do espectro de absorção e compararmos com as curvas já conhecidas.

Se conhecemos o espectro de absorção de uma certa substância podemos também determinar a quantidade dessa substância, por exemplo, em solução.

Lambert estudou a transmissão de luz por sólidos homogêneos, Beer estendeu o trabalho de Lambert ao estudo de soluções. Podemos apresentar as conclusões desses dois trabalhos na forma de uma lei, conhecida como Lei de Lambert-Beer.

Com essa lei, intensidades de radiação incidente e emergente podem ser relacionadas com a concentração da substância presente na solução. Nessa lei são considerados as seguintes situações:

- Os efeitos de reflexão, refração e espalhamento são desprezíveis.
- A radiação que incide deve ser monocromática, ou seja, conter apenas um comprimento de onda.

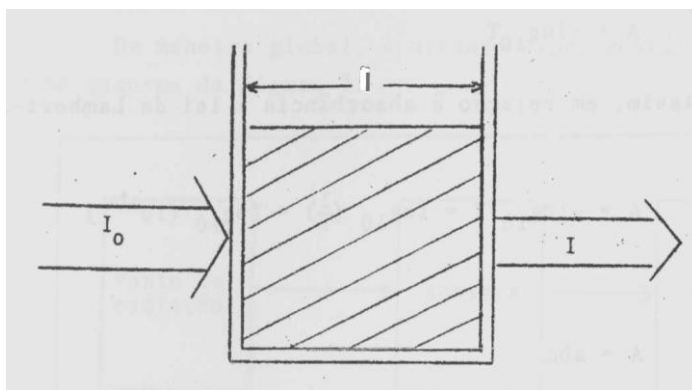


Figura 1 - Experimento da Lei de Lambert-Beer

Fonte: plato.if.usp.br/~fap0181d/texts/espectro-2006.pdf

Considerando a situação posta pela figura 1, I_0 e I são respectivamente as intensidades da radiação incidente e transmitida pela amostra. Na maioria das vezes a intensidade transmitida decai exponencialmente com o aumento do caminho l percorrido na solução, e também quando se aumenta a concentração c da solução.

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon lc} \quad (1)$$

Onde, c é a concentração do material em estudo, l o caminho óptico (comprimento interno do recipiente), e $\varepsilon(\lambda)$, o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorção, um fator característico da substância e que depende do comprimento de onda da radiação.

Experimentalmente podemos medir a *transmitância* T que é a razão entre a intensidade incidente e a transmitida, e também podemos medir a *absorbância* A que tem uma relação logarítmica inversa com a transmitância. Então:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\varepsilon lc} \quad (2)$$

$$A = \log_{10} \frac{1}{T} = \varepsilon lc \quad (3)$$

A partir dessas relações podemos com um espectrofotômetro determinar os espectros de absorção e em seguida obter a concentração da substância em solução.

2.4. Isotermas de Adsorção

O fenômeno da adsorção é a acumulação de uma substância sobre uma superfície ou interface. Esse fenômeno ocorre com todos os tipos de interfaces, como, por exemplo, gás-sólido, sólido-líquido, líquido-gás e etc.

É fato que existem dois tipos de adsorção: a adsorção física, conhecida como fisissorção e a adsorção química conhecida como quimiossorção. A adsorção física é do tipo não-específica, rápida e reversível. O adsorbato encontra-se ligado à superfície somente por forças de van der Waals (forças dipolo-dipolo e dipolo-induzido). A adsorção química é específica e envolve a formação de um composto bidimensional, como por exemplo, quando gases entram em contato com superfícies metálicas limpas.

A uma temperatura constante a quantidade adsorvida (x) aumenta com a concentração (c) do adsorbato (seja na fase líquida ou gasosa), e a relação entre a quantidade adsorvida e a concentração é conhecida como isoterma de adsorção.

Um modelo simples de adsorção e bastante utilizado é o de Langmuir, que foi a princípio proposto para descrever a adsorção de gases em sólidos. Esse modelo supõe que a superfície do sólido é coberta por um grande número de sítios, sendo que cada sítio pode ser ocupado por uma molécula que é adsorvida. Esses sítios são todos equivalentes e também é considerado que as moléculas que são adsorvidas não interagem entre si e nem com outros sítios, e essa adsorção se completa quando é atingida a saturação, ou seja, quando todos os sítios disponíveis forem ocupados, correspondendo a uma monocamada de adsorbato. A equação que corresponde a isoterma de Langmuir é:

$$C_r \cdot \frac{m}{X} = \frac{1}{k_1 \cdot k_2} + \frac{1}{k_2} C_r \quad (4)$$

Onde m é a concentração de adsorvente, x a quantidade adsorvida, k_1 índice de capilaridade, k_2 quantidade do soluto que saturou uma unidade de massa do adsorvente com uma monocamada.

Em outros casos o sistema segue a isoterma de Freundlich, em que a adsorção ocorre com a formação de diversas camadas, conhecido como, multicamadas, ao invés de ser apenas uma monocamada. E essa isoterma corresponde a seguinte equação:

$$\ln \frac{X}{m} = \ln K + n \cdot \ln C_r \quad (5)$$

Onde K é uma constante e n a inclinação e está ligada a intensidade da adsorção.

2.5. *Saccharomyces cerevisiae* liofilização

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é um microorganismo amplamente utilizado industrialmente na produção de biomassa, etanol, alimentos, proteínas

recombinantes, fármacos, vacinas entre outros produtos de interesse comercial (PORRO et al., 1995).

O uso de *Saccharomyces cerevisiae* para mediar reações orgânicas tem sido explorado há aproximadamente um século e suas células integras têm sido o biocatalisador mais popularmente utilizado na redução de compostos carbonílicos (FABER, 1997; STEWART, 2000). A ação redutora desta levedura foi observada pela primeira vez, pela adição de enxofre a uma suspensão de fermento biológico em solução de açúcar, onde foi verificada o desprendimento de sulfeto de hidrogênio (RODRIGUES; MORAM, 2001). O seu habitat é rico em nutrientes, e durante o seu crescimento este microorganismo modifica as condições desse habitat, consumindo nutrientes e excretando produtos. A célula de levedura encontra-se bem adaptada para manter uma alta velocidade de crescimento mesmo após estas mudanças, o que está diretamente relacionado à capacidade de regular a expressão de genes apropriados ao regime nutricional em que a célula se encontra. A expressão de genes e a consequente síntese de proteínas são diretamente influenciadas pelas condições nutricionais (KRUCKEBERG et al., 1998). Este microorganismo é capaz de utilizar diferentes fontes de carbono, dependendo da presença de genes específicos que codificam para as enzimas necessárias para a captação, bem como para o metabolismo destas fontes de carbono (STAMBUK, 1999).

O processo de liofilização consiste em submeter os microorganismos a temperaturas de congelamento e então desidratá-las rapidamente em alto vácuo. Tornando-os viáveis por muitos anos. Esse processo é usado para fazer alimentos desidratados sem realmente tirar a água do alimento, como é vendido nos supermercados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais.

3.1.1. Vidrarias: tubos de ensaio, béqueres, pipetas graduadas e volumétricas, balões volumétricos, provetas, bastão de vidro, conta-gotas, frascos de armazenamento, e outros materiais de uso comum em laboratório.

3.1.2. Equipamento: agitador magnético, balança analítica ADA 210/L, refrigerador Cònsul 280 litros, espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC, pHmetro Digimed modelo DMPH2, agitador de tubos, centrífuga Fanem modelo Excelsa Baby2, tubos de centrífuga, Câmara de germinação tipo B.O.D. modelo MA 403 e balança técnica Shimadzu BL3200 H.

3.1.3. Reagentes: *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada (Fermento biológico seco da marca *Dona Benta*®, Lote 144038 1 16 e 145418 1 20), Corantes Direct Red 23 e Direct Red 75, todos da “Aldrich Chemical Company”.

3.2. Preparo da suspensão de levedura *S. cerevisiae* liofilizada 2.5%.

Pesamos 1,000g de Fermento biológico seco da marca *Dona Benta*®, e dissolvemos com água destilada até ficar homogêneo, em seguida, diluímos todo o conteúdo em 40mL de água destilada, assim obtendo uma suspensão a 2,5%.

3.3. Preparo das soluções estoque de corante.

Foram pesados 0,100g dos corantes Direct Red 23 e Direct Red 75 em pó, e as soluções estoques foram preparadas dissolvendo-se os corantes em água destilada e em seguida utilizando um balão volumétrico ajustamos o volume final para 100mL, tendo assim uma solução estoque com concentração final de 1.000µg/mL.

3.3.1. 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

C.I. 29160

Formula molecular: $C_{35}H_{25}N_7Na_2O_{10}S_2$

Solubilidade: Solúvel em água.

Grau de pureza: 30%

Peso molecular: 813.74

Absorbância máxima: 507,0nm

Fórmula estrutural:

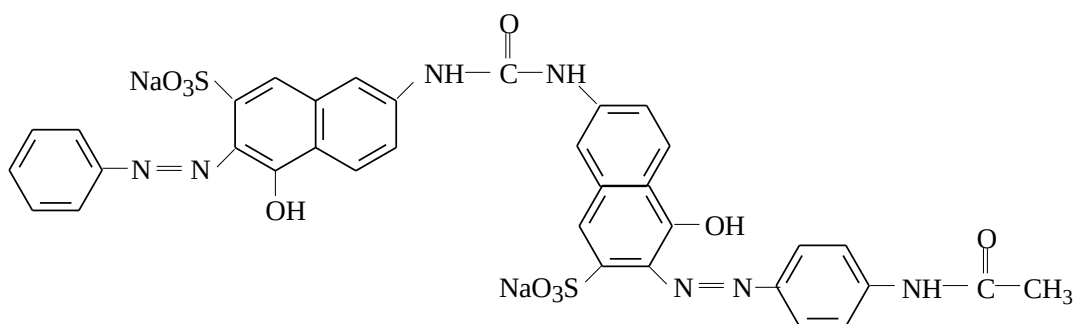


Figura 2 - Fórmula estrutural do corante Direct Red 23

Fonte: Sigma-Aldrich Chemical Company, Inc

3.3.2. Direct Red 75:

Sinônimos: Benzo Fast Pink 2BL, Chlorazol fast pink; Tetrasodium 5,5'-[carbonylbis[imino(2-sulphonato-4,1-phenylene)azo]]bis(6-amino-4-hydroxynaphthalene-2-sulphonate)

C.I. 25380

Formula molecular: $C_{33}H_{22}N_8Na_4O_{15}S_4$

Solubilidade: Solúvel em água.

Grau de pureza: 30%

Peso molecular: 990.80

Absorbância máxima: 521,5 nm

Formula estrutural:

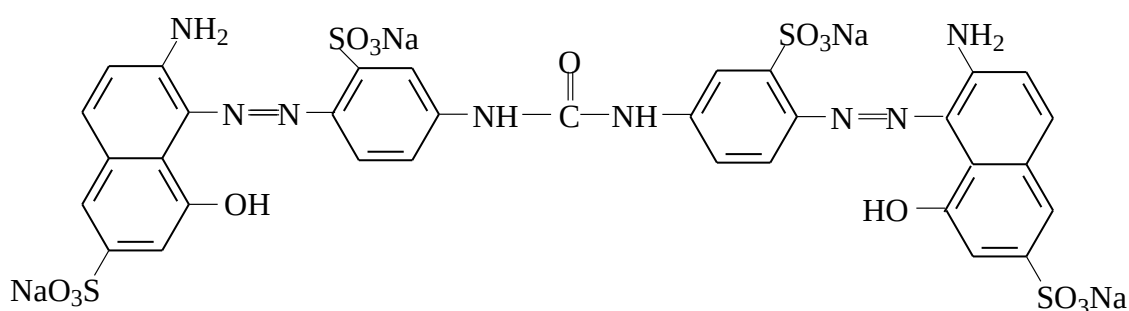


Figura 3 - Formula estrutural do corante Direct Red 75

Fonte: Sigma-Aldrich Chemical Company, Inc

3.4. Teste de estabilidade dos corantes “Direct Red 23” e “Direct Red 75” em diferentes valores de pH.

Os corantes preparados que estavam com uma concentração de 1.000µg/mL foram diluídos de forma adequada, utilizando-se de 1mL da solução padrão e completando esse volume com 9mL de água destilada, que foi ajustada para os pH's 2,5; 4,5; e 6,5; utilizando H_2SO_4 0,1M e NaOH 0,1M. Obtendo assim uma solução com concentração de 100µg/mL.

Para podermos verificar a estabilidade dos corantes “Direct Red 23” e “Direct Red 75” efetuamos varreduras espectrais desses corantes nos três pH’s e na concentração de 100µg/mL, nos comprimentos de onda entre 190 e 800nm.

A partir destes dados conseguimos determinar o comprimento de onda máximo de absorção de cada um dos corantes e também observar se as varreduras espectrais se superpõem, mostrando sua estabilidade ou não.

3.5. Retas-Padrão.

A obtenção das retas-padrão dos corantes foram realizadas em diferentes valores de pH, preparando baterias em duplicata com cinco tubos para cada pH. Com o pH da água ajustado nos valores de pH 2,50; 4,5 e 6,5, preparamos soluções de corante na concentração de: 40, 50, 60, 80 e 100µg/mL.

Após a preparação dos tubos de ensaio, homogeneizamos as soluções e em seguida fizemos as leituras de absorbância em um espectrofotômetro, para o corante “Direct Red 23” foi utilizado uma cubeta de quartzo de 5mm e para o corante “Direct Red 75” uma cubeta de vidro de 10mm.

Com os espectros de absorção em mãos e observando o valor da absorbância nos comprimentos de onda onde temos a maior absorção conseguimos relacionar a concentração de corante com sua respectiva absorbância a partir da lei de Lambert-Beer, e com isso fazemos regressões lineares para as retas dos corantes nos três valores de pH.

3.6. Testes de biossorção.

Em nosso trabalho fizemos os experimentos em dois casos diferentes para analisar a adsorção, no primeiro caso utilizamos a biomassa (*S. cerevisiae* liofilizada) fixa e variamos a concentração de corante e no segundo caso variamos a biomassa (*S. cerevisiae* liofilizada) e fixamos a quantidade de corante.

3.6.1. Biomassa fixa e corante variável.

Preparamos cinco tubos de ensaio em duplicata para cada bateria do experimento nos pH's 2,5, 4,5 e 6,5. Em cada tubo tivemos uma concentração de corante de 40, 50, 60, 80 e 100µg/mL, e colocamos uma quantidade fixa de 0,200mL de *S. cerevisiae* liofilizada (equivalente a 0,500mg de biomassa). Da forma mostrada na tabela 1.

Tabela 1 - Disposição experimental para o teste de biossorção

Tubo	H ₂ O (mL)	Corante (mL)	Biomassa (mL)	Conc. de corante (µg/mL)
1	9,40	0,40	0,20	40
2	9,30	0,50	0,20	50
3	9,20	0,60	0,20	60
4	9,00	0,80	0,20	80
5	8,80	1,00	0,20	100

Após o preparo experimental, agitamos os tubos para homogeneização e o colocamos em uma B.O.D. à 30°C por 120 minutos. Após atingir esse tempo, pegamos as amostras e centrifugamos por 15 minutos a 4000 rpm. Em seguida levamos a solução sobrenadante, já sem a biomassa em suspensão, para fazermos a leitura de absorção de luz para posteriormente avaliar a concentração de corante remanescente e adsorvido no sistema. Também foi feito um controle para cada tubo sem a biomassa, para poder fazer análise das isothermas posteriormente.

3.6.2. Biomassa variável e corante fixo.

Foi preparado cinco tubos de ensaio em duplicata para cada bateria do experimento nos pH's 2,5, 4,5 e 6,5. Em cada tubo tivemos uma concentração fixa de 100µg/mL e colocamos uma quantidade de *S. cerevisiae* liofilizada de 0,1mL à 0,5mL indo de 1/10mL para cada respectivo tubo (equivalendo então de 0,250mg até 1,250mg de biomassa). Da forma mostrada na tabela 2.

Tabela 2 - Disposição experimental para o teste de bioissorção

Tubo	H ₂ O (mL)	Corante (mL)	Biomassa (mL)	Conc. de corante (µg/mL)
1	8,90	1,00	0,10	100
2	8,80	1,00	0,20	100
3	8,70	1,00	0,30	100
4	8,60	1,00	0,40	100
5	8,50	1,00	0,50	100

Após o preparo experimental, agitamos os tubos para homogeneização e o colocamos em uma B.O.D. à 30°C por 120 minutos. Após atingir esse tempo, pegamos as amostras e centrifugamos por 15 minutos à 4000 rpm. Em seguida levamos a solução sobrenadante, já sem a biomassa em suspensão, para fazermos a leitura de absorção de luz para posteriormente avaliar a concentração de corante remanescente e adsorvido no sistema. Foi feito um controle sem a biomassa, para poder fazer análise das isotermas posteriormente.

3.7. Obtenção da concentração de corante remanescente e adsorvido.

Para obtermos a concentração de corante remanescente fizemos uso das retas-padrão. Como elas nos dizem a relação da absorbância de uma solução em função da sua concentração, nós conseguimos determinar a concentração remanescente de corante na solução após o tratamento pela bioissorção utilizando a absorbância resultante. Já para o corante adsorvido pela *S. cerevisiae* é determinado pela diferença entre a concentração inicial do corante e a concentração remanescente de corante.

3.8. Estimativa da remoção total do corante.

Após obtermos a quantidade de corante remanescente na solução podemos relaciona - lá com a quantidade de biomassa usada para se obter aquele resultado, com isso conseguimos fazer um gráfico no qual nos mostra a quantidade necessária

de biomassa para se obter certa quantidade de corante remanescente. Com isso nós conseguimos fazer uma regressão linear sobre os pontos e obter então a quantidade necessária de biomassa para a remoção total do corante, em certa concentração, da solução. Isso só se aplica ao caso onde a biomassa é variável e a concentração de corante é fixa. Essa estimativa foi feita para os três pH's no caso do Direct Red 23 e somente no pH 2,5 para o Direct Red 75.

3.9. Aplicação das isothermas.

Após as análises espectrofotométricas e determinação da concentração remanescente de corante e da quantidade que foi adsorvida pela *S. cerevisiae*, nós fizemos diversos gráficos utilizando das isothermas de Langmuir e Freundlich nos três pH's para o corante Direct Red 23, já para o corante Direct Red 75 somente utilizamos os dados no pH 2,5.

Para o caso da isoterma de Langmuir temos $C_r \cdot (m/X)$ versus C_r , já para a isoterma de Freundlich temos $\ln(X/m)$ versus $\ln C_r$. Onde: C_r é a concentração remanescente de corante, X é a concentração de corante adsorvido e m é a quantidade de biomassa. Nos casos em que a biomassa é fixa podemos também fazer um gráfico de concentração de corante remanescente versus concentração de corante adsorvido, e assim podemos observar se há saturação daquela quantidade ou não.

A partir desta aplicação podemos observar qual das isothermas explica melhor o comportamento da interação entre a *S. cerevisiae* e as moléculas do corante e justificando a diferença na remoção.

4. Resultados:

- 4.1. *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada, microorganismo utilizado como biomassa para efetuar o processo de bio sorção, e sua forma industrializada (Figura 4 e 5).**

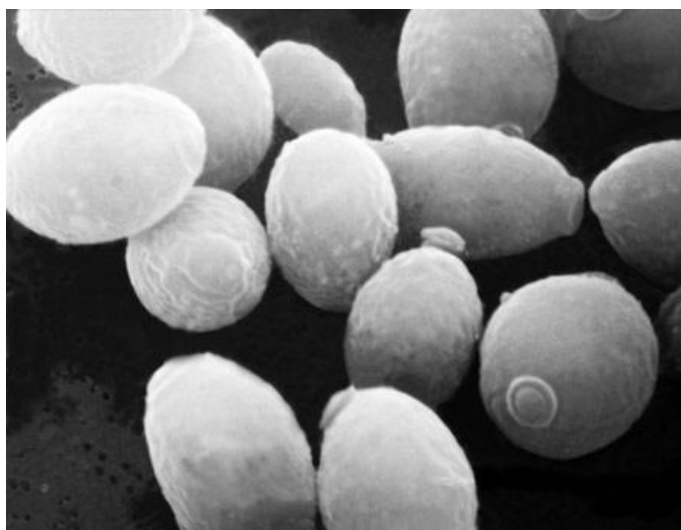


Figura 4 - Levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Fonte - <http://www.agronews.blog.br/externos/noticia/saccharomyces-cerevisiae-lallemand1311337721.jpg>



Figura 5 - *S. cerevisiae* em sua forma industrial liofilizada.

4.2. Teste de estabilidade e espectros de absorção do corante “Direct red 23” em diferentes valores de pH, e retas-padrão (Figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12).

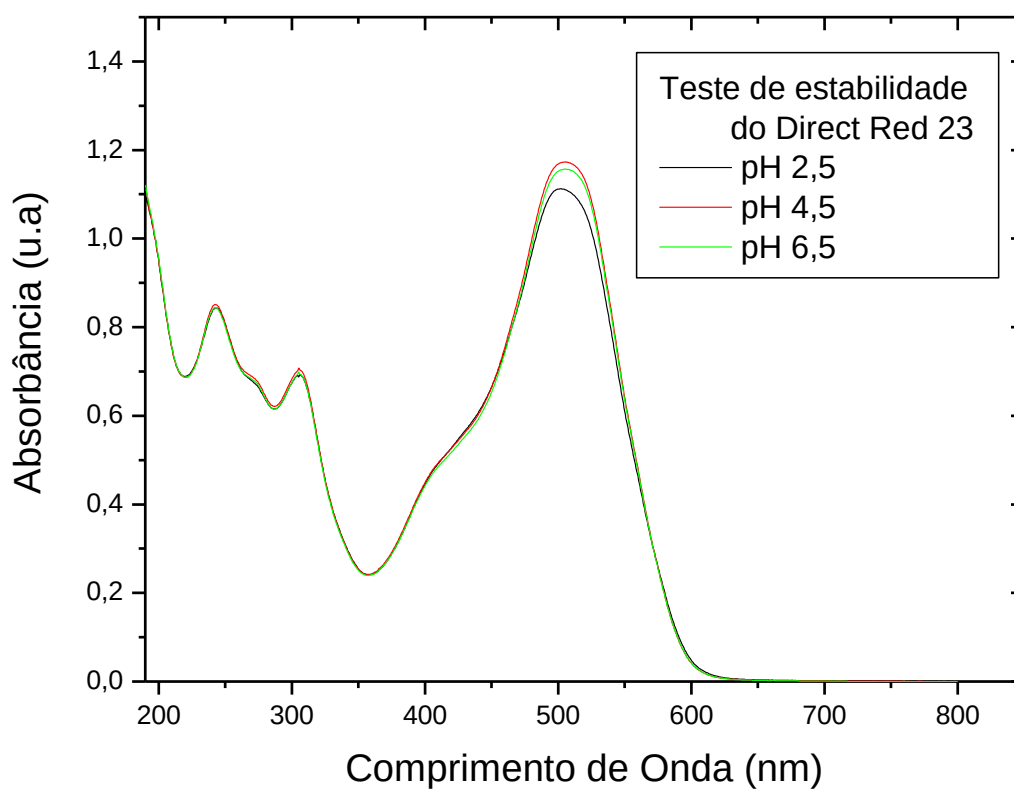


Figura 6 – Curva de absorvância do corante “Direct Red 23”, para pH nos valores: 2,5; 4,5 e 6,5; em uma concentração de 80µg/mL.

Caminho óptico: 5mm

Cubeta de quartzo

$\lambda_{\text{máx}}$ =507nm

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

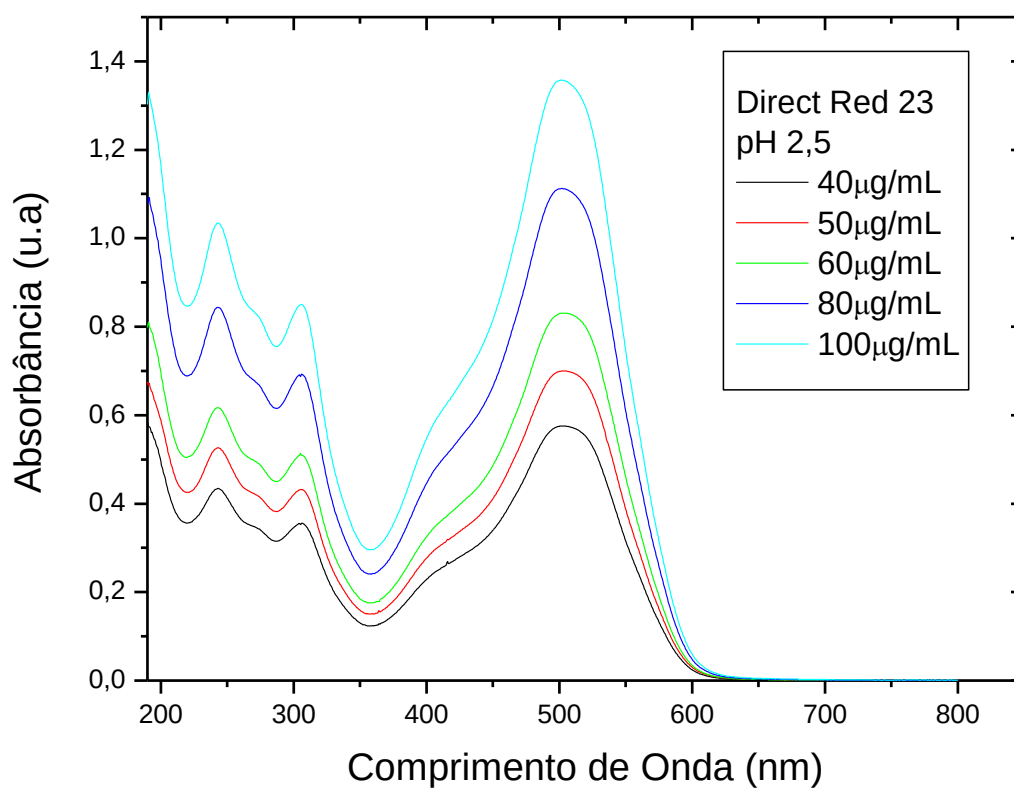


Figura 7 - Espectro de absorção do corante "Direct Red 23" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 2,5.

Caminho Óptico: 5mm

Cubeta de Quartzo

$\lambda_{\text{máx}}=507\text{nm}$

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

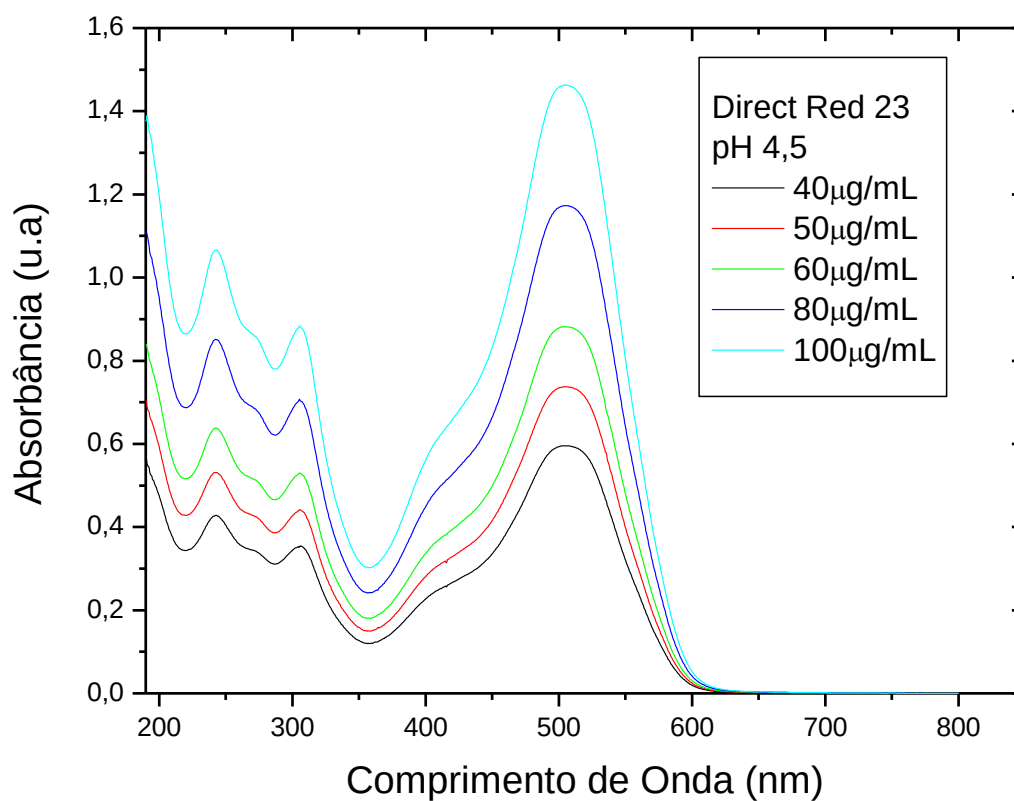


Figura 8 - Espectro de absorção do corante "Direct Red 23" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 4,5.

Caminho Óptico: 5mm

Cubeta de Quartzo

$\lambda_{\text{máx}}=507\text{nm}$

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

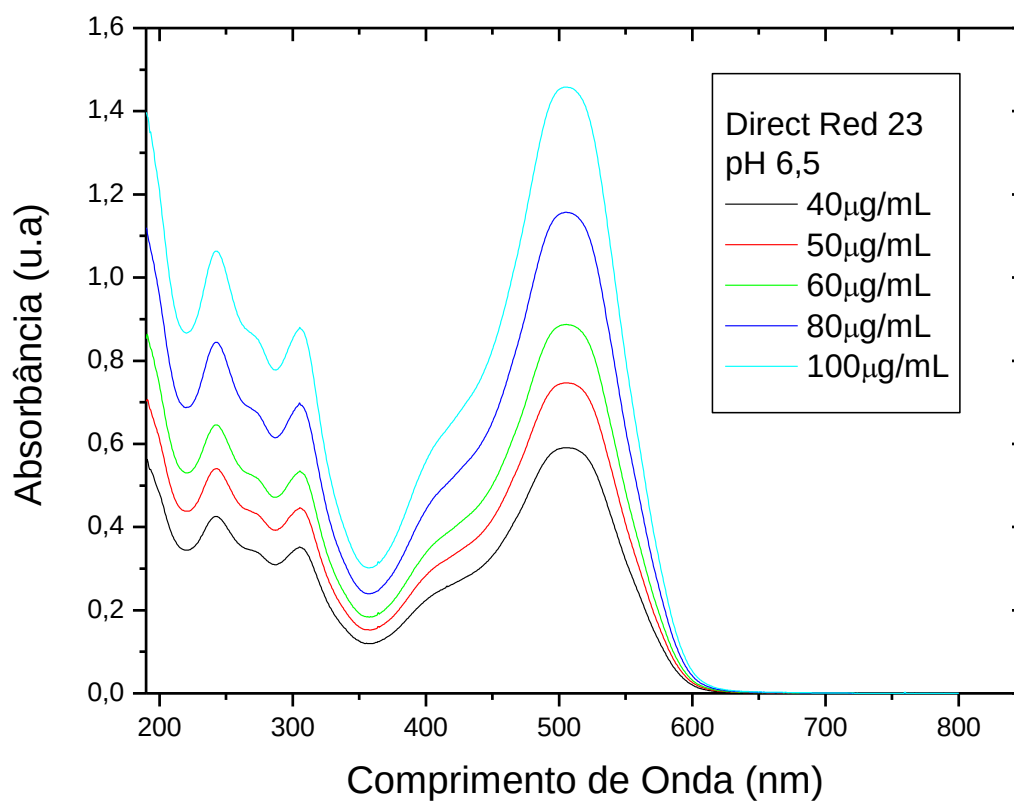


Figura 9 - Espectro de absorção do corante "Direct Red 23" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 6,5.

Caminho Óptico: 5mm

Cubeta de Quartzo

$\lambda_{\text{máx}}=507\text{nm}$

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

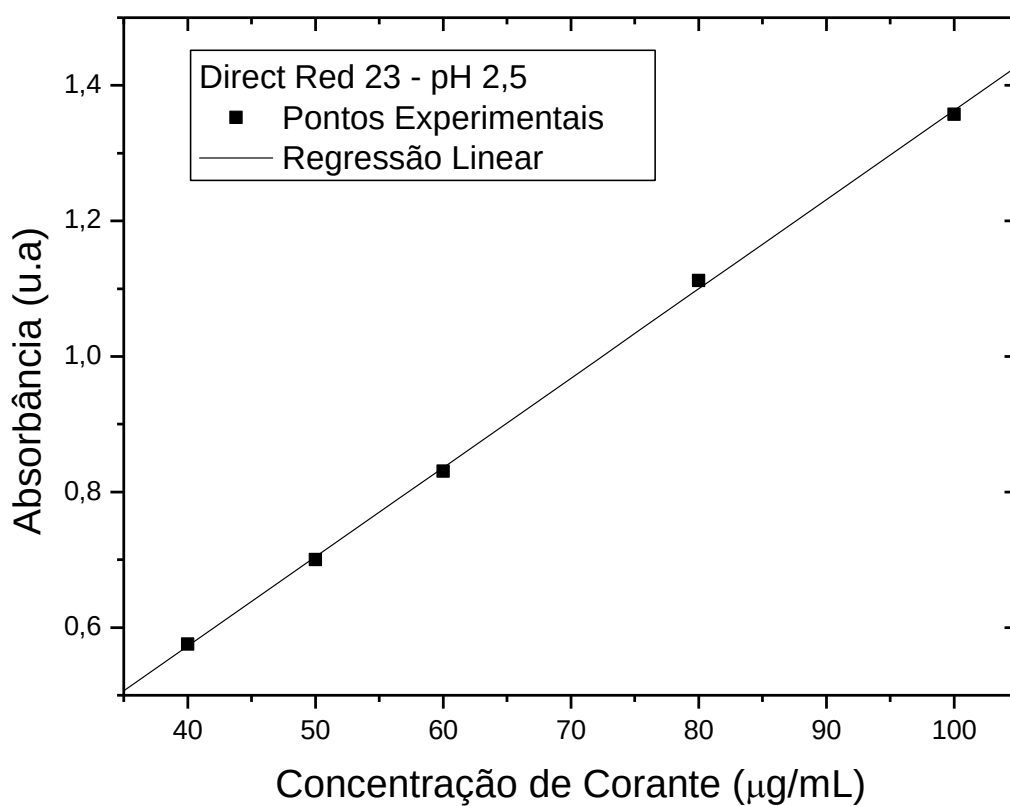


Figura 10 - Reta padrão do corante "Direct Red 23" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 2,5.

Caminho Óptico: 5mm

Cubeta de Quartzo

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

$\lambda_{\text{máx}}=507\text{nm}$

$\text{Absorbância}_{507\text{nm}}=0,04548 + (0,01318 \times \text{Conc. de Corante})$

$R=0,99969$

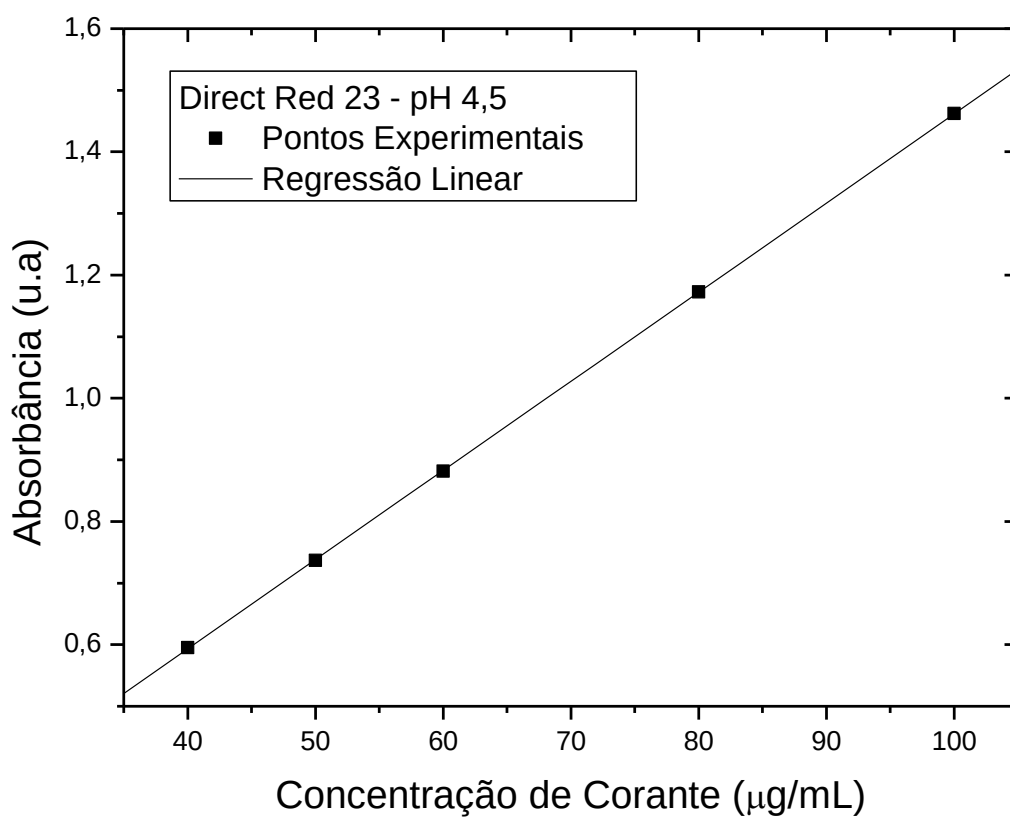


Figura 11 - Reta padrão do corante "Direct Red 23" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 4,5.

Caminho Óptico: 5mm

Cubeta de Quartzo

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

$\lambda_{\text{máx}}=507\text{nm}$

$\text{Absorbância}_{507\text{nm}}=0,01469 + (0,01447 \times \text{Conc. de Corante})$

$R=0,99999$

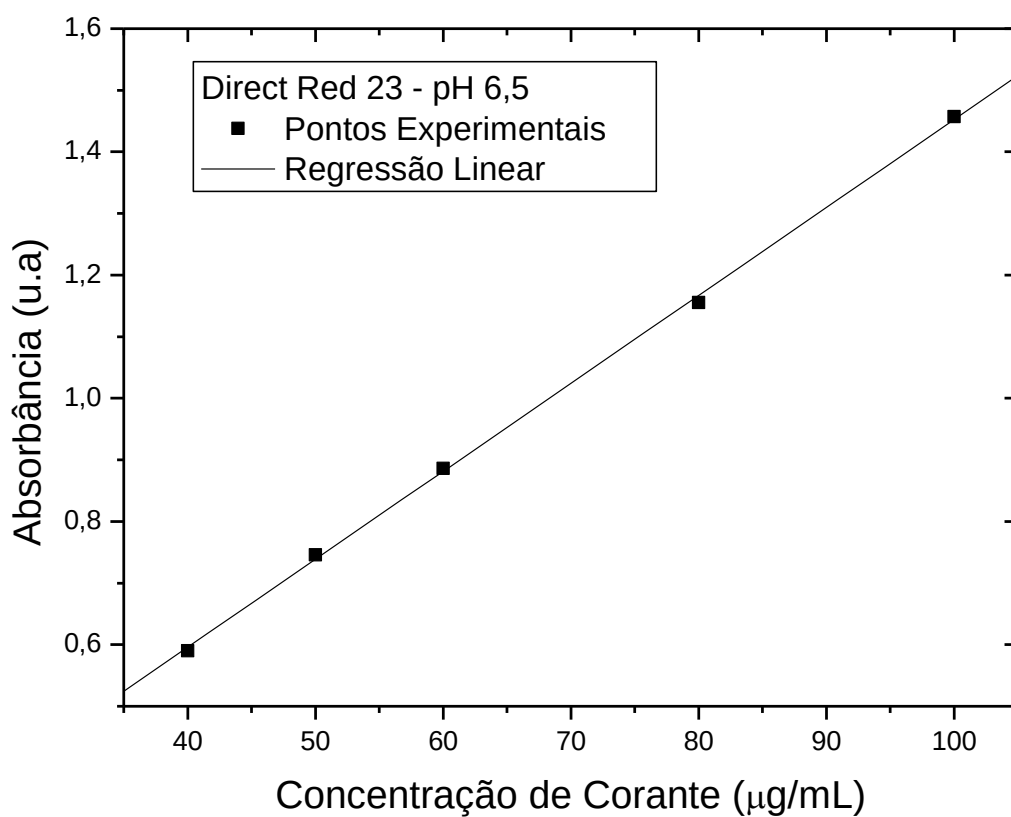


Figura 12 - Reta padrão do corante "Direct Red 23" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 6,5.

Caminho Óptico: 5mm

Cubeta de Quartzo

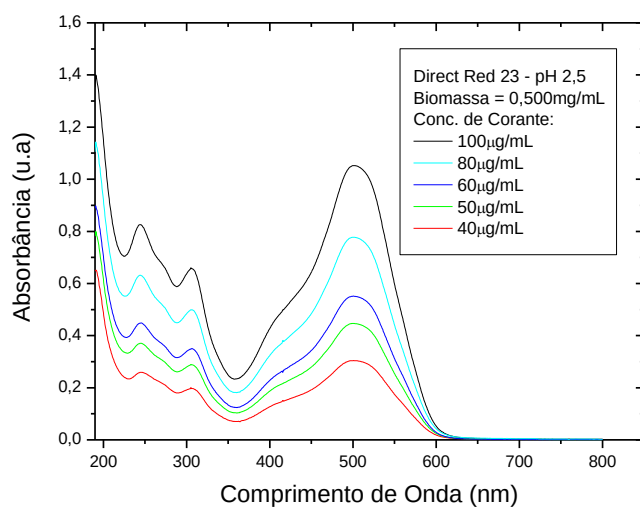
Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

$\lambda_{\text{máx}}=507\text{nm}$

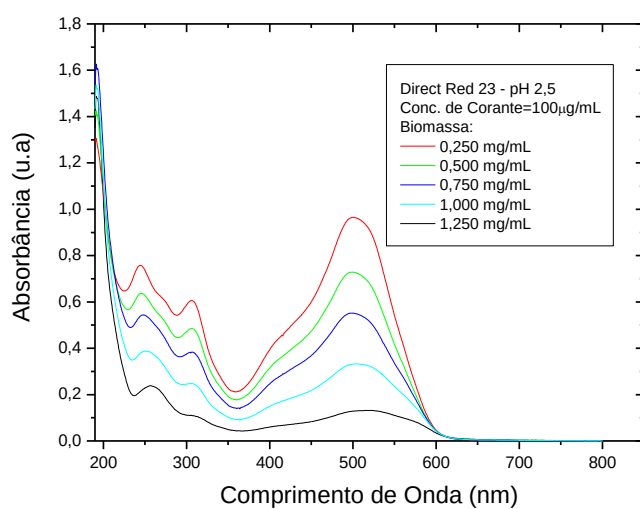
$\text{Absorbância}_{507\text{nm}}=0,02486 + (0,01427 \times \text{Conc. de Corante})$

$R=0,99972$

4.3. Interação entre a *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada e o corante Direct Red 23 pelo método da biossorção nos pH's 2,5; 4,5 e 6,5. (Figuras 13-a, 13-b, 14-a, 14-b, 15-a e 15-b).

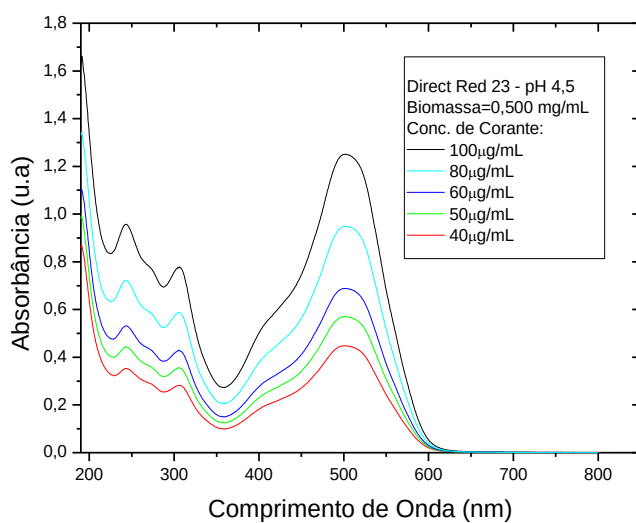


(a)

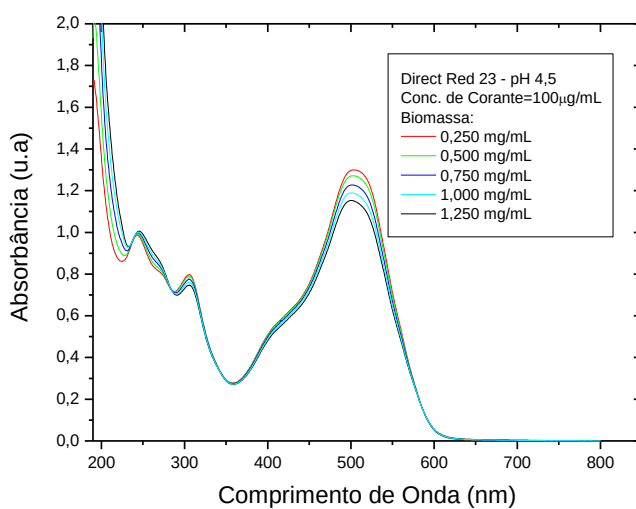


(b)

Figura 13 – Espectros de absorção da interação entre a *S. cerevisiae* e o corante têxtil “Direct Red 23” no pH 2,5 nos casos: (a) Biomassa fixa em 0,500 mg/mL e concentração de corante variável com valores de 40, 50, 60, 80 e 100µg/mL. (b) Concentração de corante fixa em 100µg/mL e concentração de biomassa variável com valores de 0,250, 0,500, 0,750, 1,000, 1,250mg/mL.

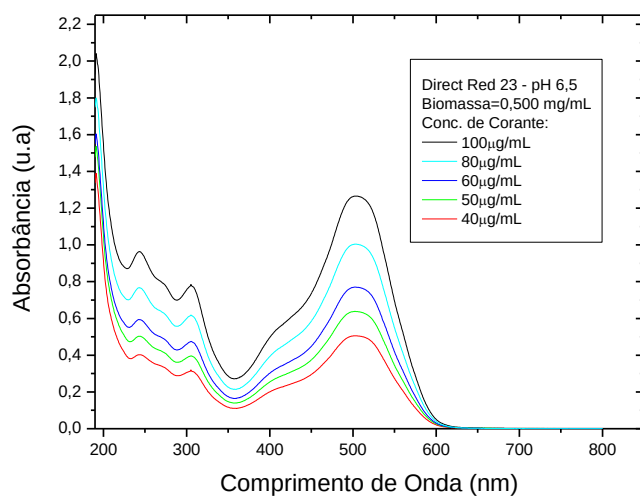


(a)

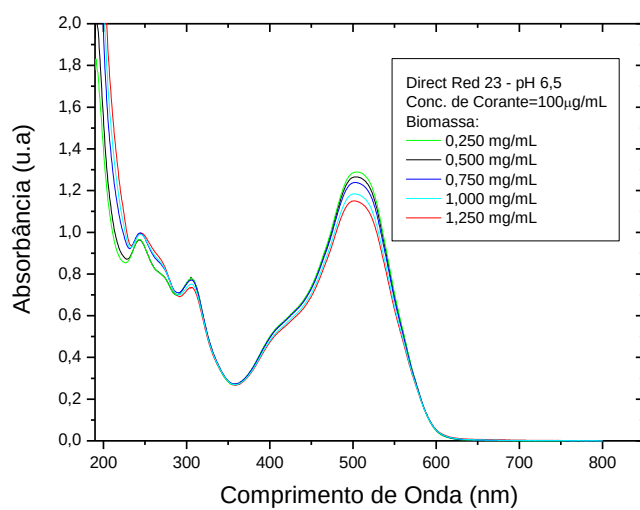


(b)

Figura 14 - Espectros de absorção da interação entre a *S. cerevisiae* e o corante têxtil “Direct Red 23” no pH 4,5 nos casos: (a) Biomassa fixa em 0,500 mg/mL e concentração de corante variável com valores de 40, 50, 60, 80 e 100µg/mL. (b) Concentração de corante fixa em 100µg/mL e concentração de biomassa variável com valores de 0,250, 0,500, 0,750, 1,000, 1,250mg/mL.



(a)



(b)

Figura 15 - Espectros de absorção da interação entre a *S. cerevisiae* e o corante têxtil “Direct Red 23” no pH 6,5 nos casos: (a) Biomassa fixa em 0,500 mg/mL e concentração de corante variável com valores de 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL. (b) Concentração de corante fixa em 100 µg/mL e concentração de biomassa variável com valores de 0,250, 0,500, 0,750, 1,000, 1,250 mg/mL.

Tabela 3 - Dados do experimento para o caso da biomassa fixa e concentração de corante variável.

pH	Conc. de biomassa (mg/mL)	Conc. de corante inicial (µg/mL)	Conc. de corante remanescente (µg/mL)	Conc. de corante adsorvido (µg/mL)
2,5	0,500	40	19,10	20,90
		50	30,25	19,75
		60	38,02	21,98
		80	57,98	22,02
		100	76,36	23,64
4,5	0,500	40	33,64	6,36
		50	42,80	7,20
		60	51,68	8,32
		80	69,82	10,18
		100	89,37	10,63
6,5	0,500	40	39,14	0,86
		50	48,77	1,23
		60	58,33	1,67
		80	76,44	3,56
		100	95,85	4,15

Tabela 4 - Dados do experimento para o caso onde a biomassa é variável e a concentração de corante é fixa.

pH	Conc. de biomassa (mg/mL)	Conc. de corante inicial (µg/mL)	Conc. de corante remanescente (µg/mL)	Conc. de corante adsorvido (µg/mL)
2,5	0,250	100	76,22	23,78
	0,500		56,12	43,88
	0,750		40,06	59,94
	1,000		26,88	73,12
	1,250		14,79	85,21
4,5	0,250	100	97,52	2,48
	0,500		95,15	4,85
	0,750		91,77	8,23
	1,000		88,87	11,13
	1,250		85,91	14,09
6,5	0,250	100	98,39	1,61
	0,500		95,96	4,04
	0,750		93,91	6,09
	1,000		89,74	10,26
	1,250		87,15	12,85

4.4. Retas de remoção para o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante “Direct Red 23” em solução é fixa em 100µg/mL (Figuras 16, 17 e 18).

Tabela 5 - Dados experimentais da bioissorção

pH	Conc. de biomassa (mg/mL)	Conc. de corante inicial (µg/mL)	Conc. de corante remanescente (µg/mL)	Conc. de corante adsorvido (µg/mL)
2,5	0,250	100	76,22	23,78
	0,500		56,12	43,88
	0,750		40,06	59,94
	1,000		26,88	73,12
	1,250		14,79	85,21

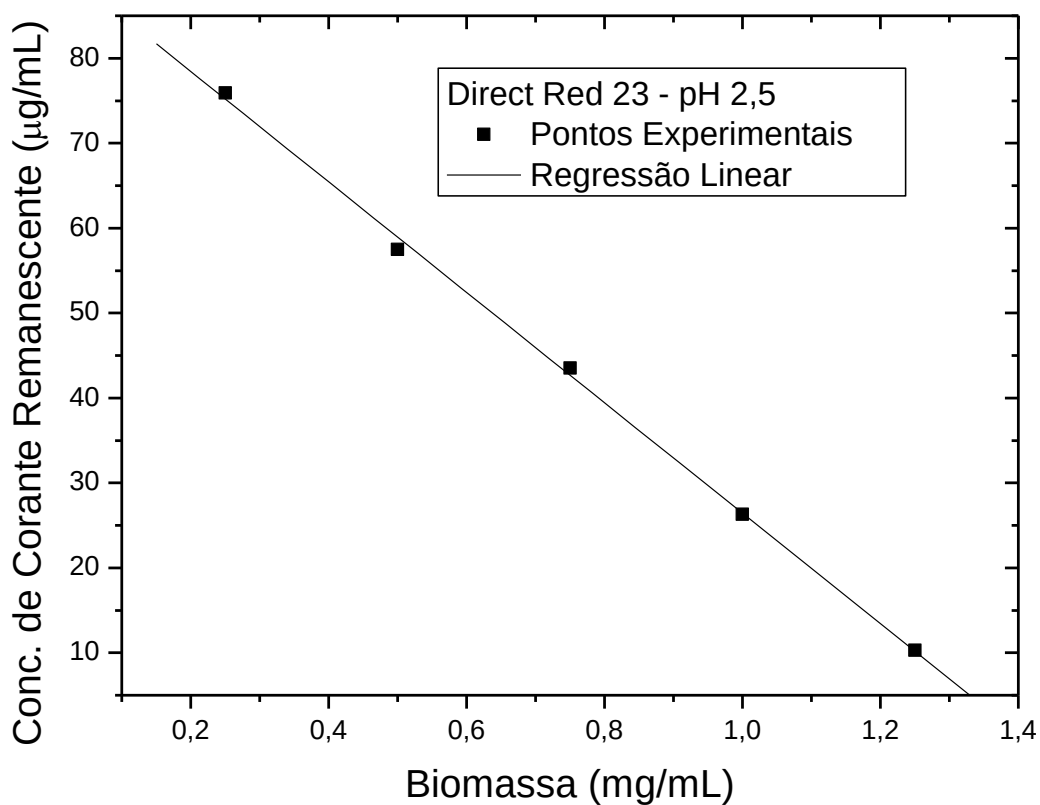


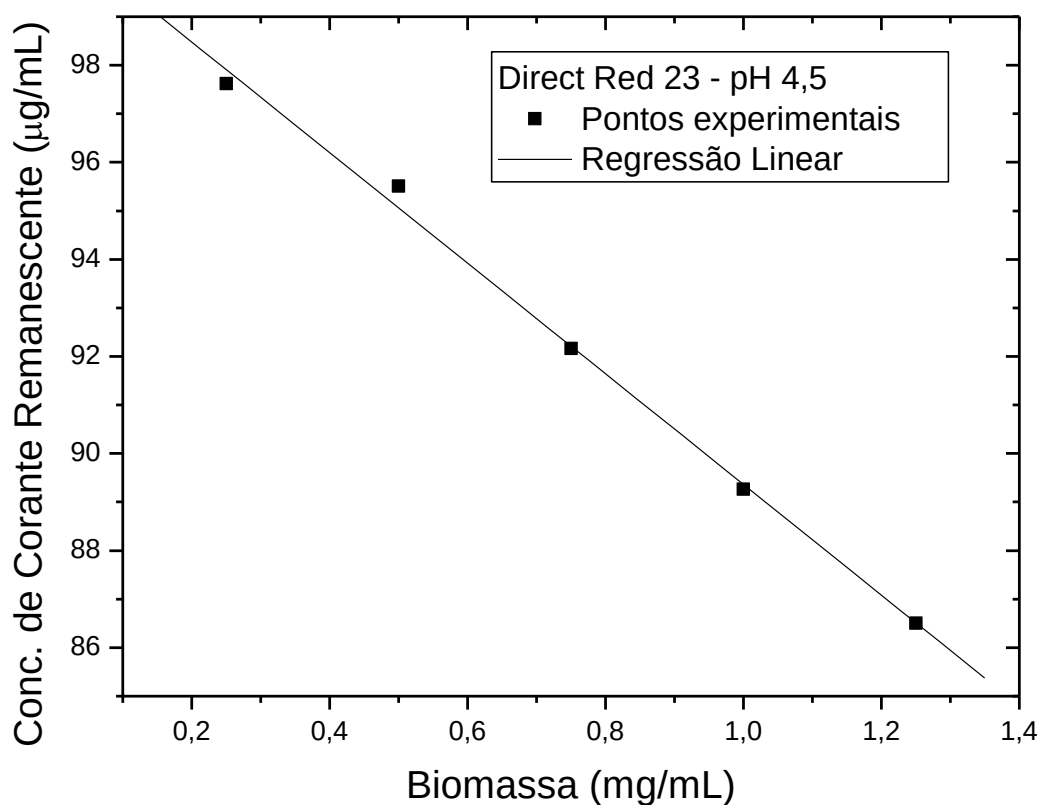
Figura 16 - Correlação da biomassa com a concentração do corante Direct Red 23 remanescente, após o processo de interação bioissorativa com a *S. cerevisiae* no pH 2,5, com concentração inicial de 100µg/mL.

Conc. remanescente de corante = $91,435 - (64,996 \times \text{Conc. de Biomassa})$

$R=0,99936$

Tabela 6 - Dados experimentais da bioissorção.

pH	Conc. de biomassa (mg/mL)	Conc. de corante inicial (µg/mL)	Conc. de corante remanescente (µg/mL)	Conc. de corante adsorvido (µg/mL)
4,5	0,250	100	97,52	2,48
	0,500		95,15	4,85
	0,750		91,77	8,23
	1,000		88,87	11,13
	1,250		85,91	14,09

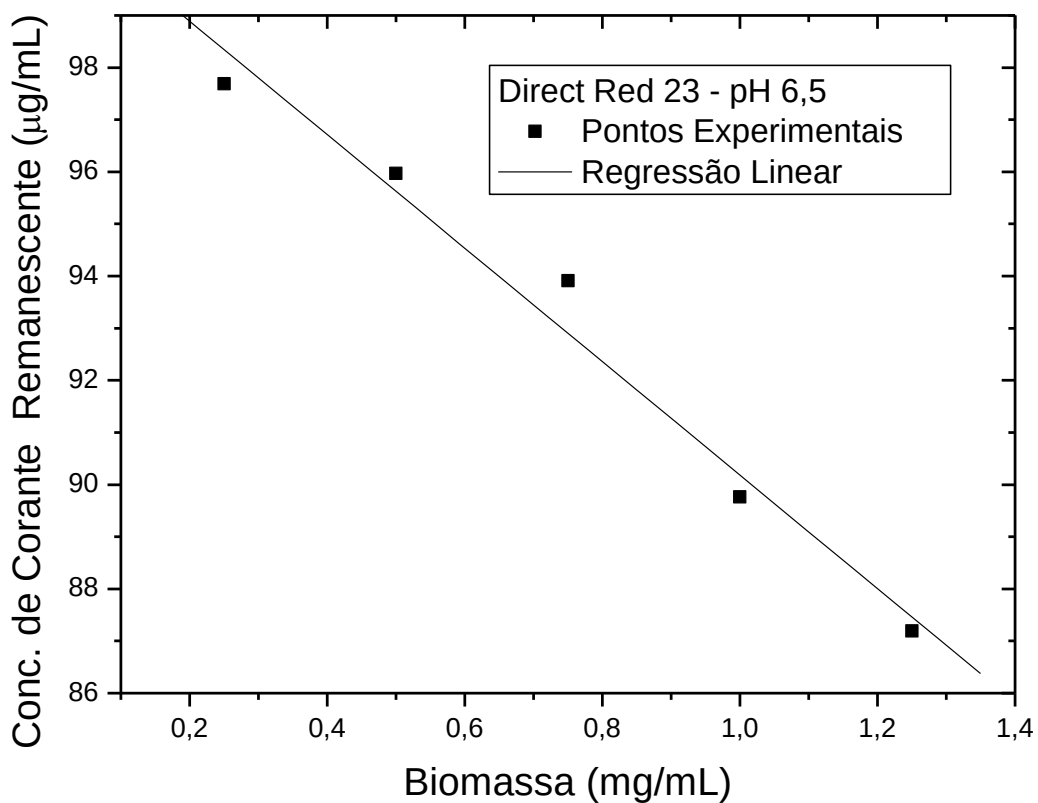
**Figura 17** - Correlação da biomassa com a concentração do corante Direct Red 23 remanescente, após o processo de interação bioissorção com a *S. cerevisiae* no pH 4,5, com concentração inicial de 100µg/mL.

Conc. remanescente de corante = 100,75604 – (11,39294 x Conc. de Biomassa)

R=0,99818

Tabela 7 - Dados experimentais da bioissorção.

pH	Conc. de biomassa (mg/mL)	Conc. de corante inicial (µg/mL)	Conc. de corante remanescente (µg/mL)	Conc. de corante adsorvido (µg/mL)
6,5	0,250	100	98,39	1,61
	0,500		95,96	4,04
	0,750		93,91	6,09
	1,000		89,74	10,26
	1,250		87,15	12,85

**Figura 18** - Correlação da biomassa com a concentração do corante Direct Red 23 remanescente, após o processo de interação bioissorativa com a *S. cerevisiae* no pH 6,5, com concentração inicial de 100µg/mL.

Conc. remanescente de corante = $101,067 - (10,884 \times \text{Conc. de Biomassa})$

$R=0,98797$

Tabela 8 - Estimativa da quantidade necessária de *S. cerevisiae* necessária para a remoção total do corante em uma solução de 10mL na concentração de 100ug/mL

pH	Biomassa (mg/mL)
2,5	1,407
4,5	8,866
6,5	9,286

4.5. Curvas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 23” e a *S. cerevisiae* liofilizada para o caso onde a biomassa é fixa e a concentração do corante “Direct Red 23” em solução é variável (Figuras 19, 20 e 21).

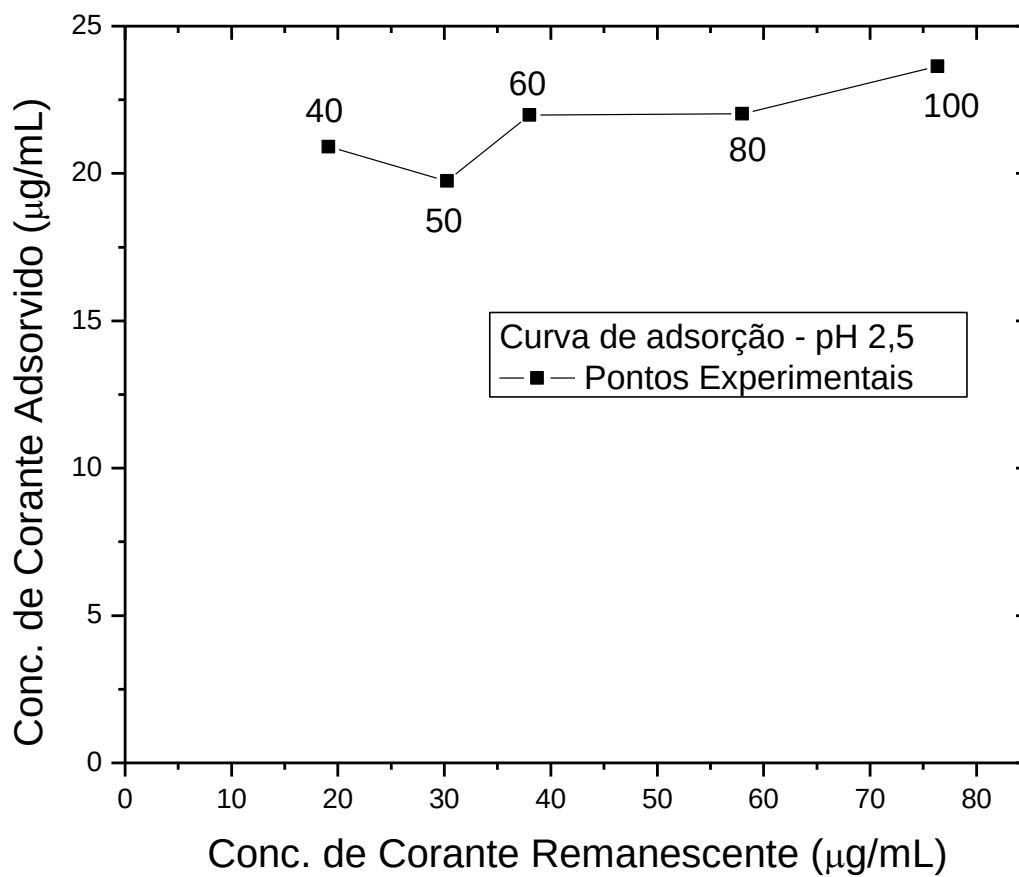


Figura 19 - Curva de adsorção no caso da biomassa fixa em 0,500mg/mL e concentração de corante DR 23 variável no pH 2,5.

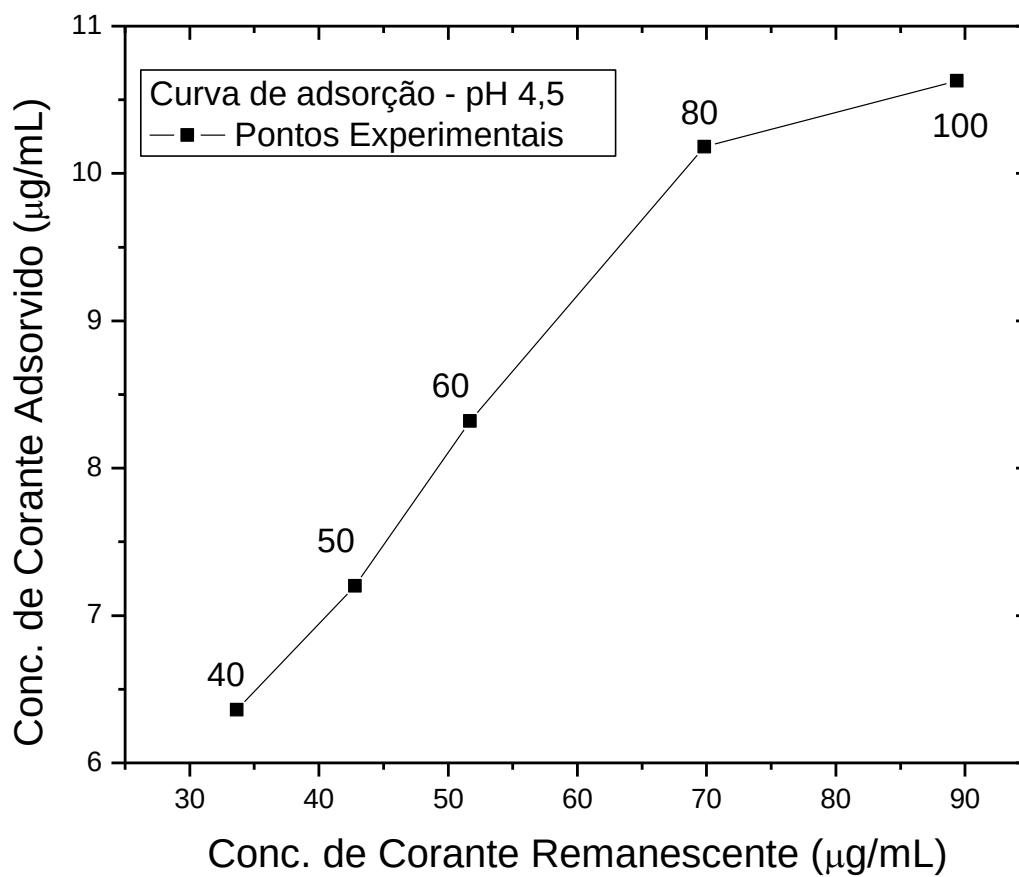


Figura 20 - Curva de adsorção no caso da biomassa fixa em 0,500mg/mL e concentração de corante DR 23 variável no pH 4,5.

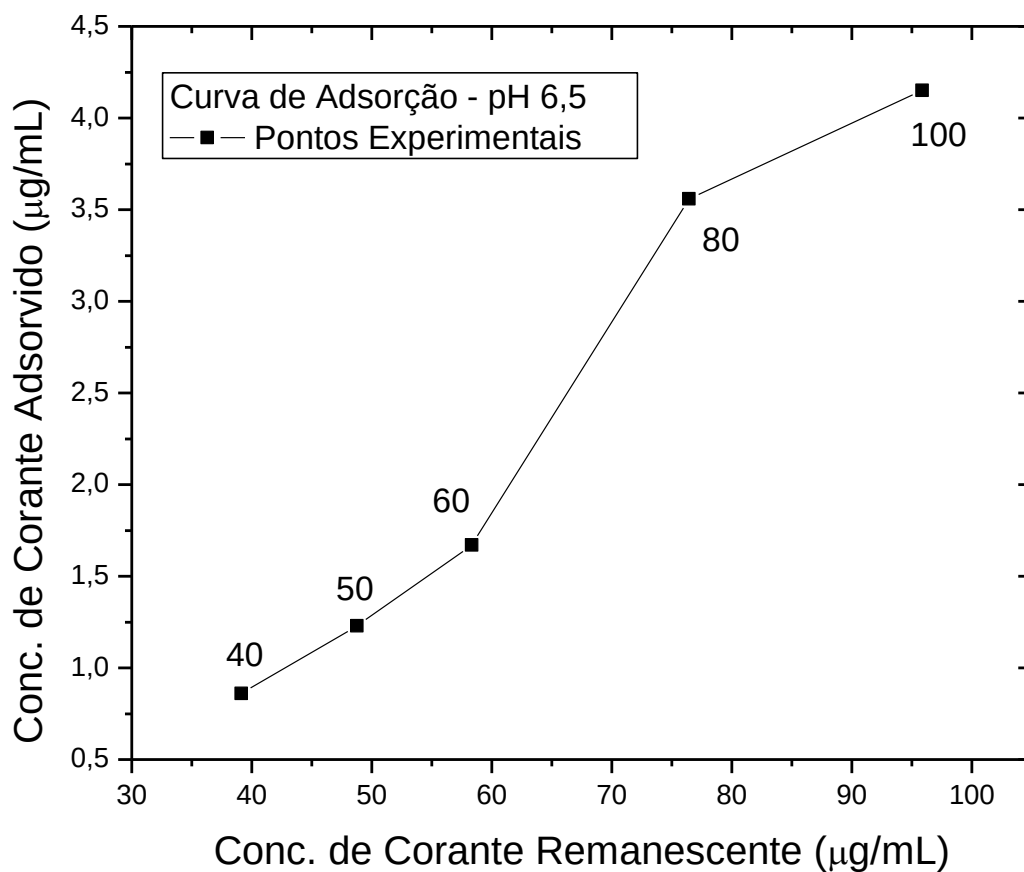


Figura 21 - Curva de adsorção no caso da biomassa fixa em 0,500mg/mL e concentração de corante DR 23 variável no pH 6,5.

4.6. Isotermas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 23” e a *S. cerevisiae* liofilizada para o caso onde a biomassa é fixa e a concentração do corante “Direct Red 23” em solução é variável (Figuras 22, 23, 24, 25, 26 e 27).

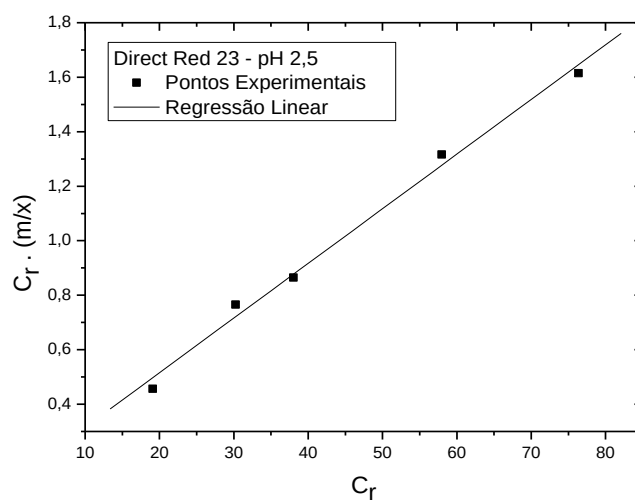


Figura 22 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 2,5. Isoterma de Langmuir. $C_r.(m/x) = 0,11446 + (0,02006 \times C_r)$. $R=0,99627$.

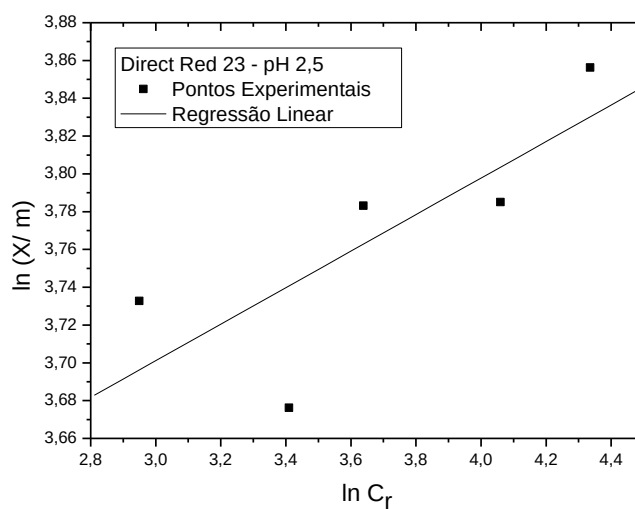


Figura 23 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 2,5. Isoterma de Freundlich. $\ln(X/m) = 3,41112 + (0,09666 \times \ln C_r)$. $R=0,78388$.

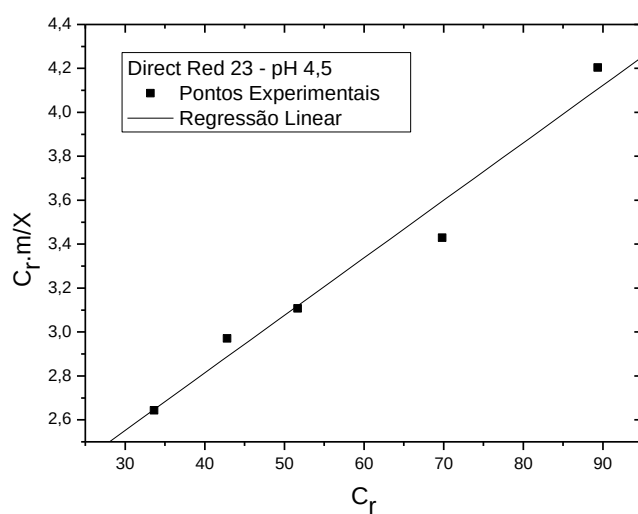


Figura 24 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 4,5. Isoterma de Langmuir. $C_r \cdot (m/X) = 1,76611 + (0,02619 \times C_r)$. $R=0,98432$.

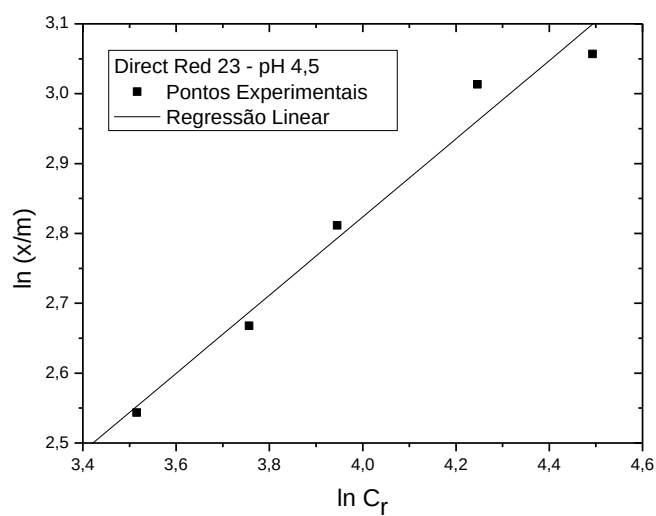


Figura 25 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 4,5. Isoterma de Freundlich. $\ln(X/m) = 0,58529 + (0,55956 \times \ln C_r)$. $R=0,98608$.

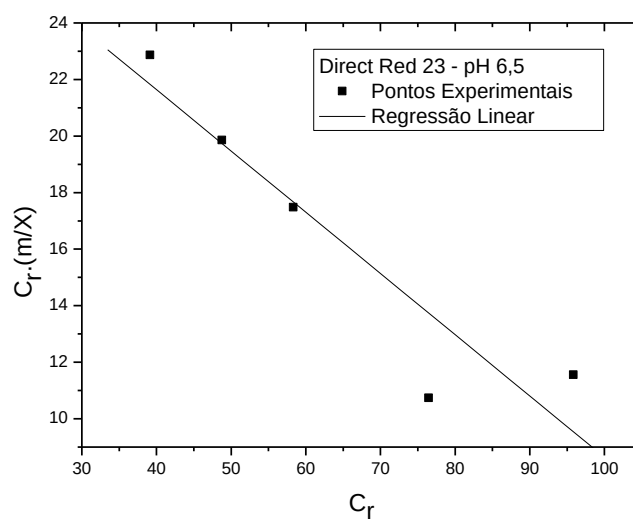


Figura 26 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 6,5. Isoterma de Langmuir. $C_r(m/x) = 30,30391 - (0,21664 \times C_r)$. $R=0,93334$.

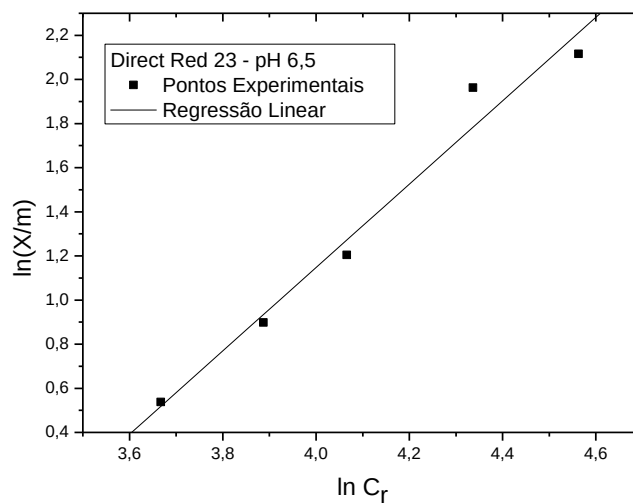


Figura 27 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 6,5. Isoterma de Freundlich. $\ln(X/m) = -6,41212 + (1,88984 \times \ln C_r)$. $R=0,98708$.

4.7. Isotermas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 23” e a *S. cerevisiae* liofilizada para o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante “Direct Red 23” em solução é fixa em 100µg/mL (Figuras 28, 29, 30, 31, 32 e 33).

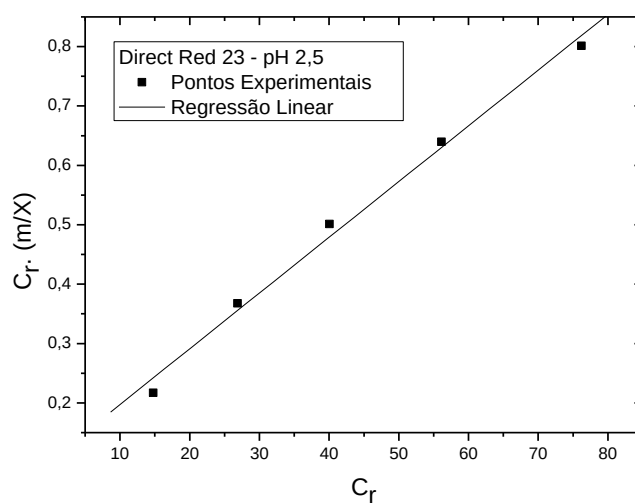


Figura 28 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 2,5. Isoterma de Langmuir. $C_r \cdot (m/X) = 0,10357 + (0,00938 \times C_r)$. $R=0,99602$.

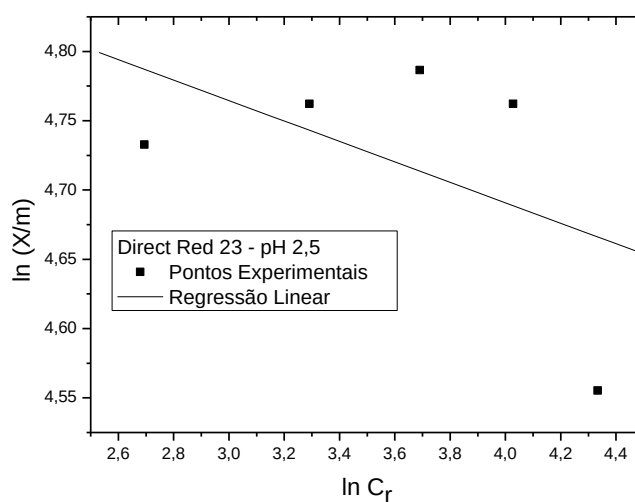


Figura 29 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 2,5. Isoterma de Freundlich. $\ln(X/m) = 4,98592 - (0,07379 \times \ln C_r)$. $R=0,50363$.

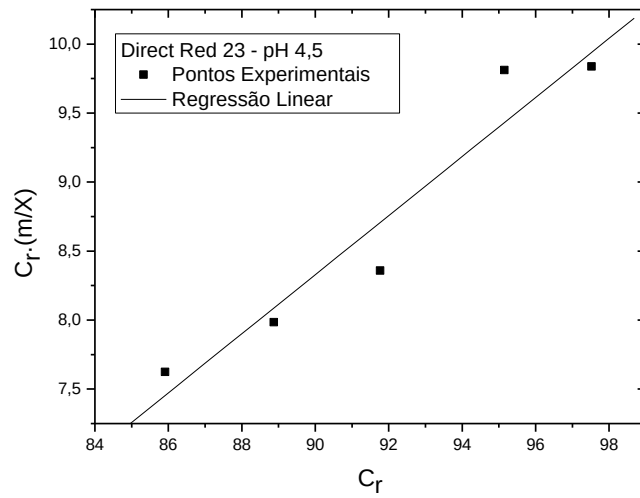


Figura 30 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 4,5. Isoterma de Langmuir. $C_r.(m/x) = -10,9375 + (0,21407 \times C_r)$. $R=0,96265$.

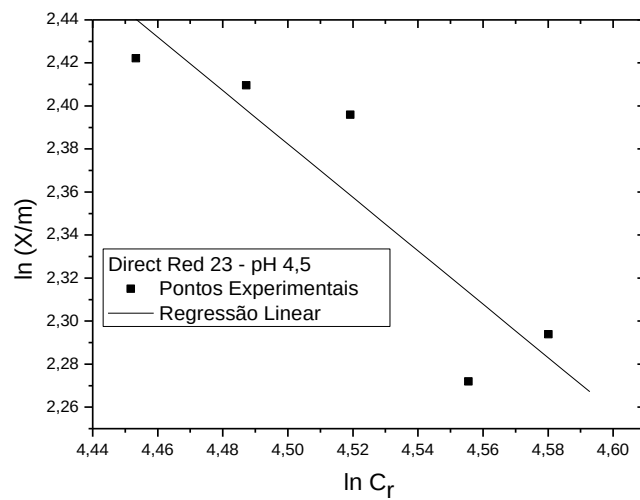


Figura 31 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 4,5. Isoterma de Freundlich. $\ln(X/m) = 7,96947 - (1,24158 \times \ln C_r)$. $R=0,90119$.

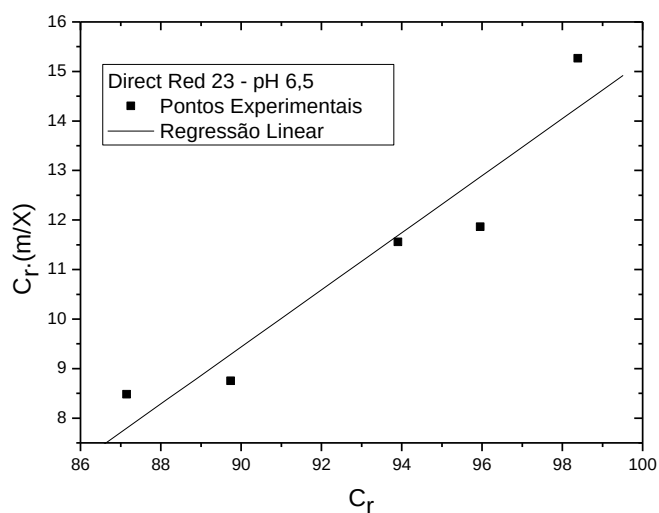


Figura 32 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 6,5. Isoterma de Langmuir. $C_r.(m/x) = -42,40343 + (0,57601 \times C_r)$. $R=0,95321$.

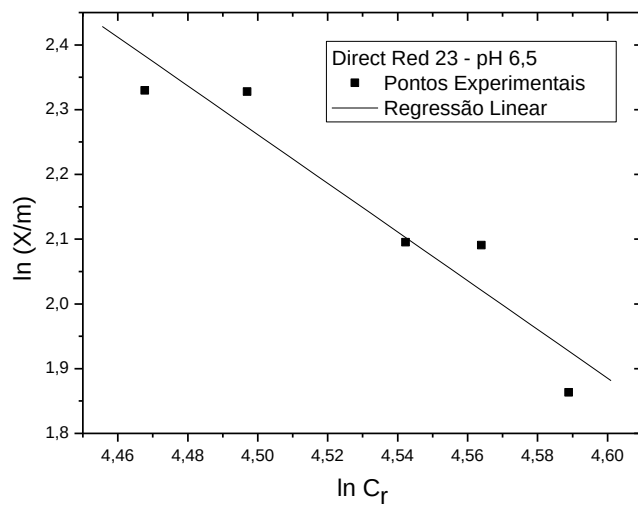


Figura 33 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 23 no pH 6,5. Isoterma de Freundlich. $\ln(X/m) = 19,18746 - (3,76131 \times \ln C_r)$. $R=0,95013$.

Tabela 9 - Dados das isotermas de adsorção para o caso da biomassa fixa e concentração de corante variável.

	pH	R
Langmuir	2,5	0,99627
	4,5	0,98432
	6,5	0,93334
Freundlich	2,5	0,78388
	4,5	0,98608
	6,5	0,98708

Tabela 10 - Dados das isotermas de adsorção para o caso da concentração de corante fixa em 100µg/mL e concentração de biomassa variável.

	pH	R
Langmuir	2,5	0,99602
	4,5	0,96265
	6,5	0,95321
Freundlich	2,5	0,50363
	4,5	0,90119
	6,5	0,95013

4.8. Teste de estabilidade e espectros de absorção do corante “Direct red 75” em diferentes valores de pH, e retas-padrão (Figuras 34, 35, 36, 37, 38, 39 e 40).

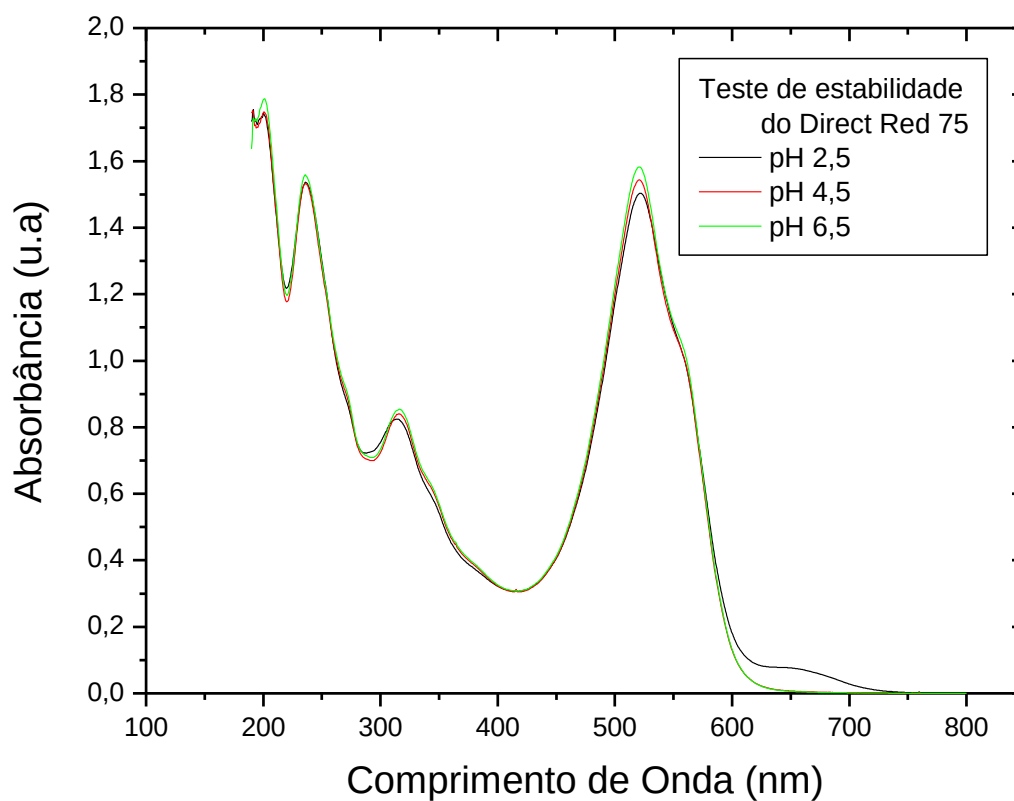


Figura 34 - Curva de absorvância do corante “Direct Red 75”, para pH nos valores: 2,5; 4,5 e 6,5; em uma concentração de 80µg/mL.

Caminho óptico: 10mm

Cubeta de Vidro

$\lambda_{\text{máx}}=521,5\text{nm}$

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

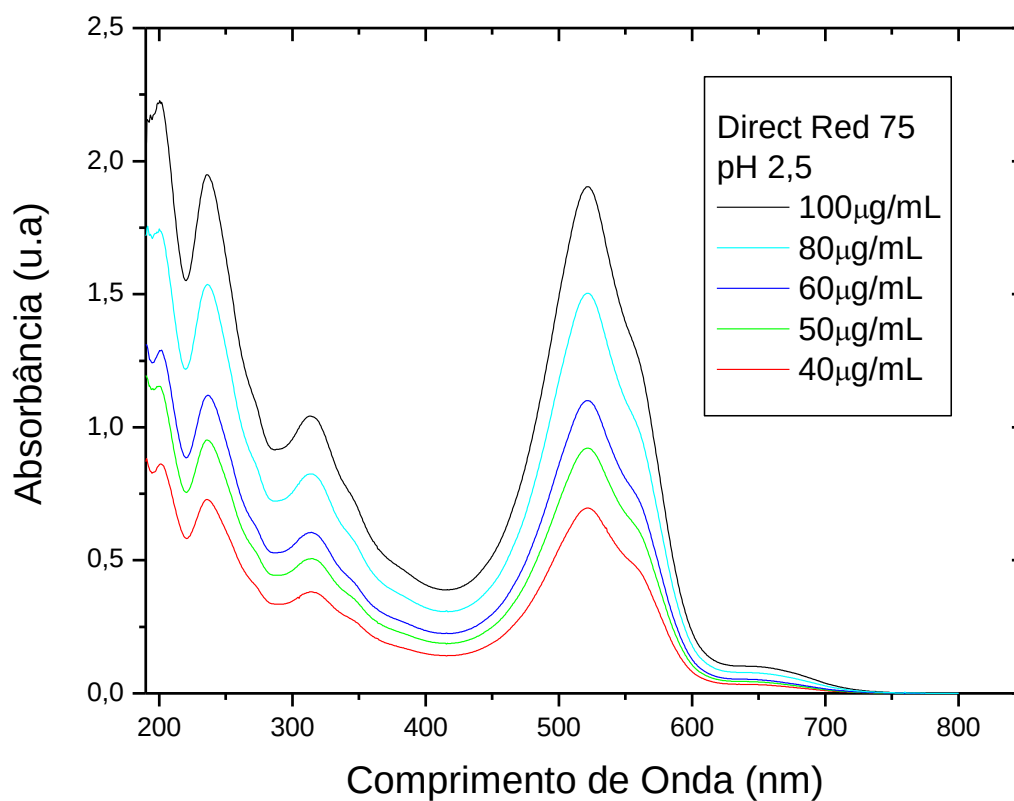


Figura 35 - Espectro de absorção do corante "Direct Red 75" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 2,5.

Caminho Óptico: 10mm

Cubeta de Vidro

$\lambda_{\text{máx}}=521,5\text{nm}$

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

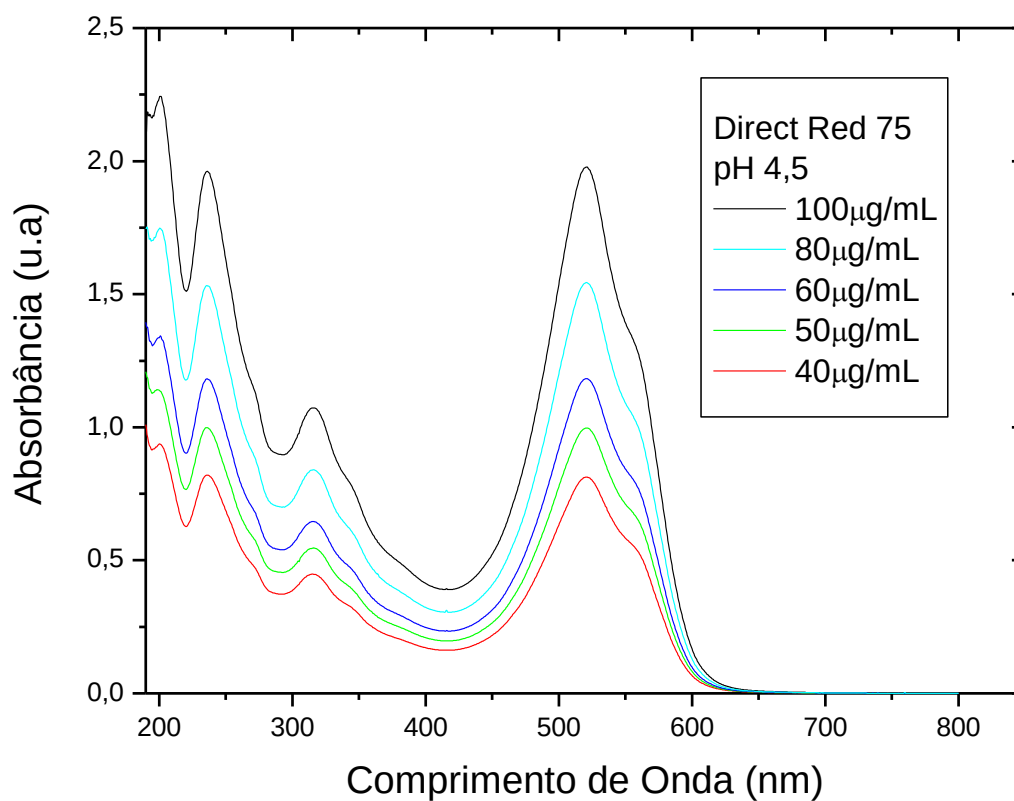


Figura 36 - Espectro de absorção do corante "Direct Red 75" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 4,5.

Caminho Óptico: 10mm

Cubeta de Vidro

$\lambda_{\text{máx}}=521,5\text{nm}$

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

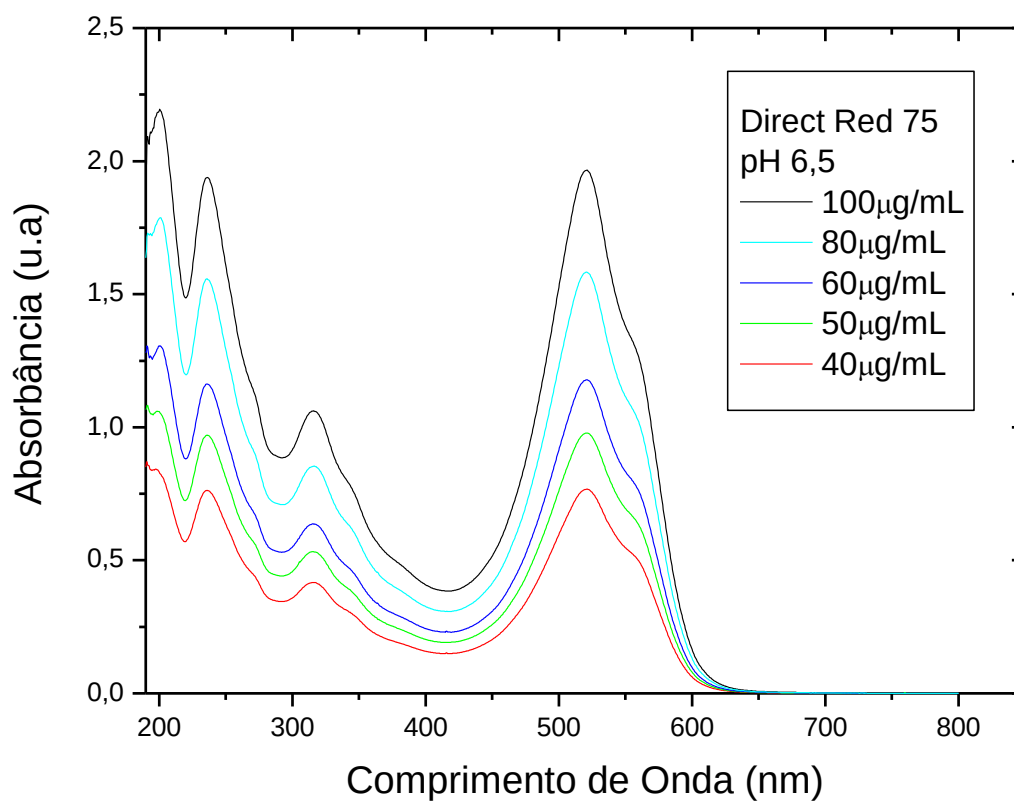


Figura 37 - Espectro de absorção do corante "Direct Red 75" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 6,5.

Caminho Óptico: 10mm

Cubeta de Vidro

$\lambda_{\text{máx}}=521,5\text{nm}$

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

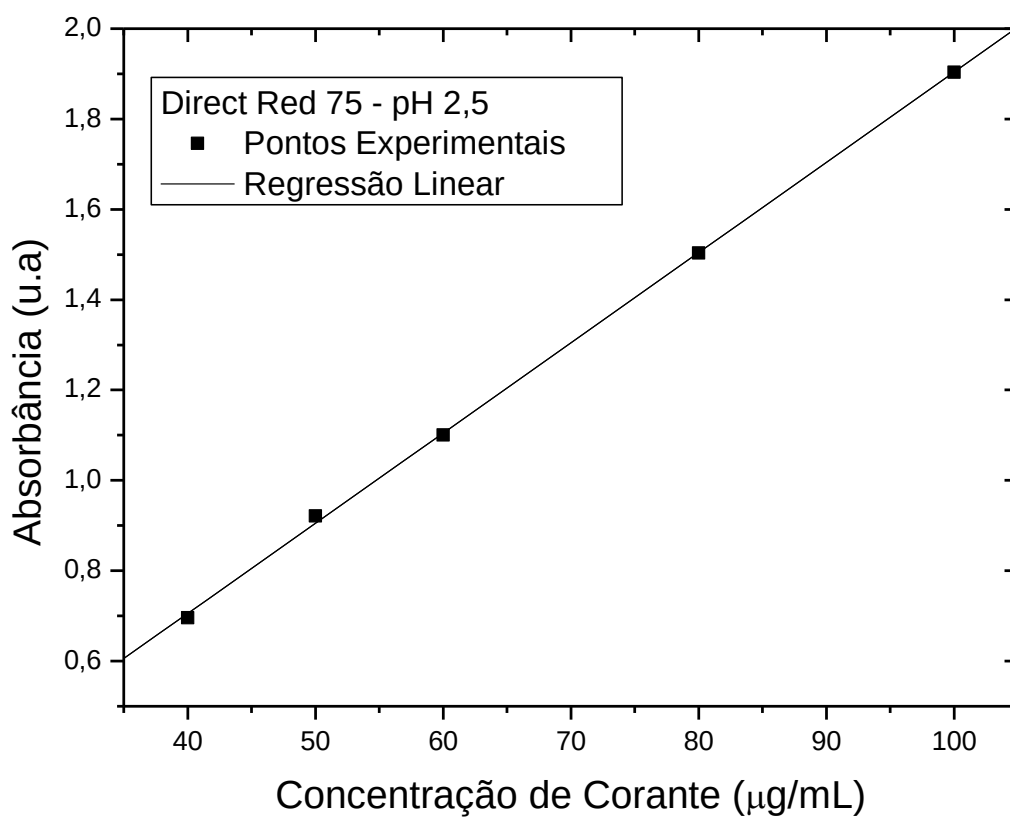


Figura 38 - Reta padrão do corante "Direct Red 75" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 2,5.

Caminho Óptico: 10mm

Cubeta de Vidro

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

$\lambda_{\text{máx}}=521,5\text{nm}$

$\text{Abs}_{521,5\text{nm}} = -0,09316 + (0,01997 \times \text{Conc. de Corante})$

$R=0,99980$

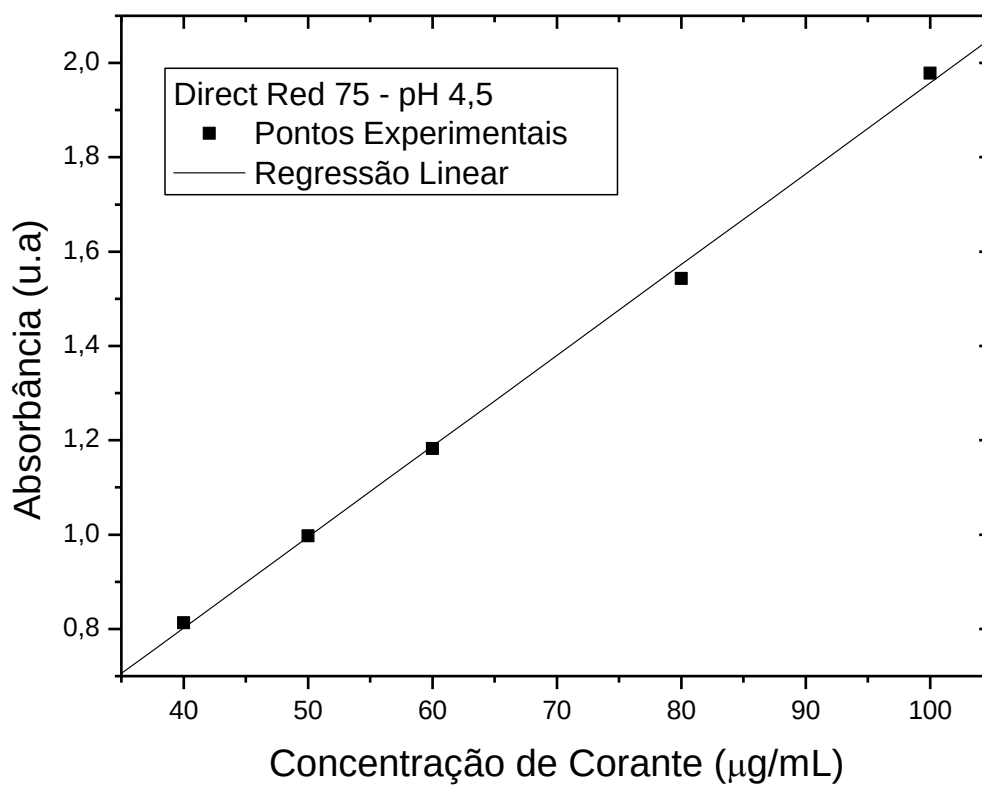


Figura 39 - Reta padrão do corante "Direct Red 75" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 4,5.

Caminho Óptico: 10mm

Cubeta de Vidro

Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

$\lambda_{\text{máx}}=521,5\text{nm}$

$\text{Abs}_{521,5\text{nm}} = 0,03204 + (0,01925 \times \text{Conc. de Corante})$

$R=0,99919$

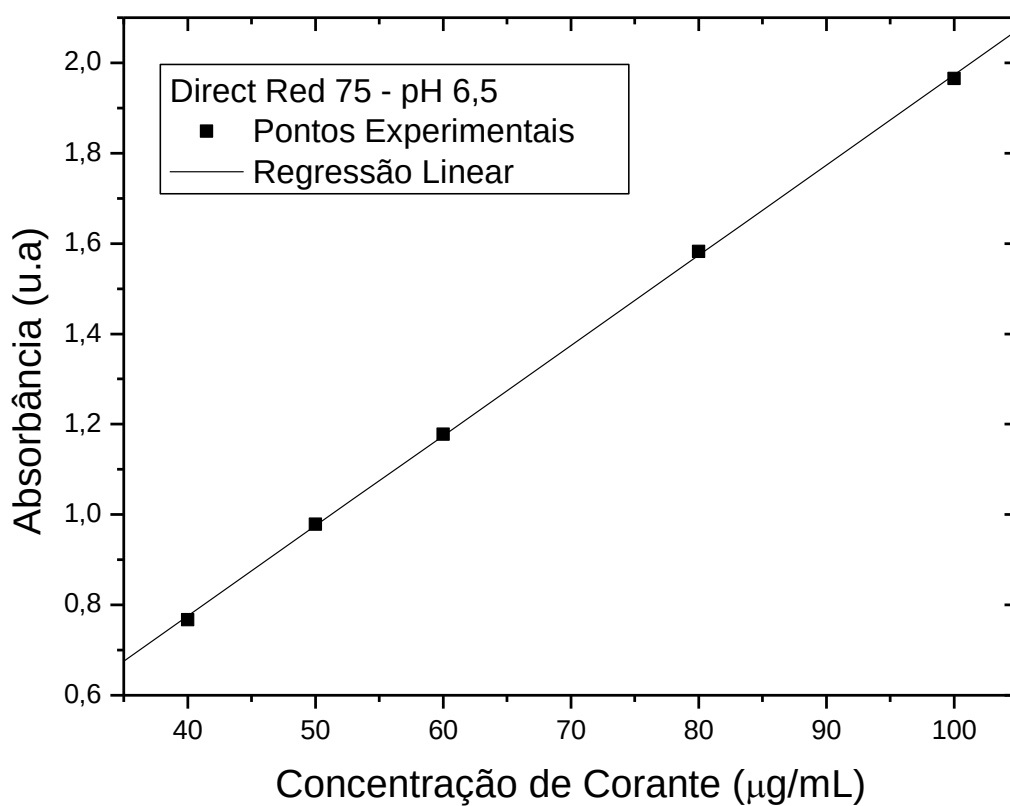


Figura 40 - Reta padrão do corante "Direct Red 75" nas concentrações: 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL no pH 6,5.

Caminho Óptico: 10 mm

Cubeta de Vidro

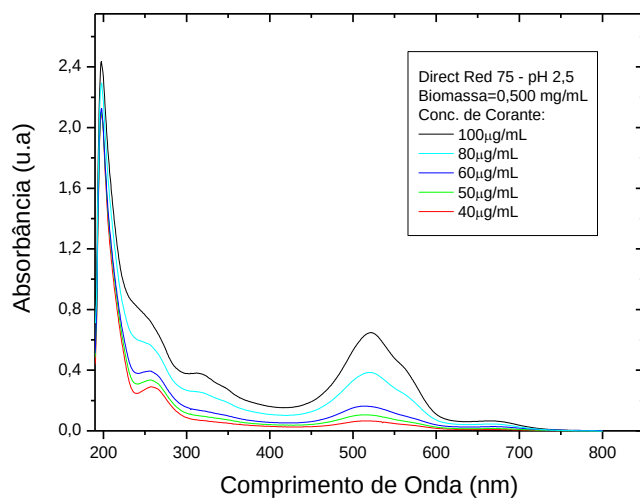
Leitura em Espectrofotômetro Shimadzu UV-2401 PC

$\lambda_{\text{máx}}=521,5\text{nm}$

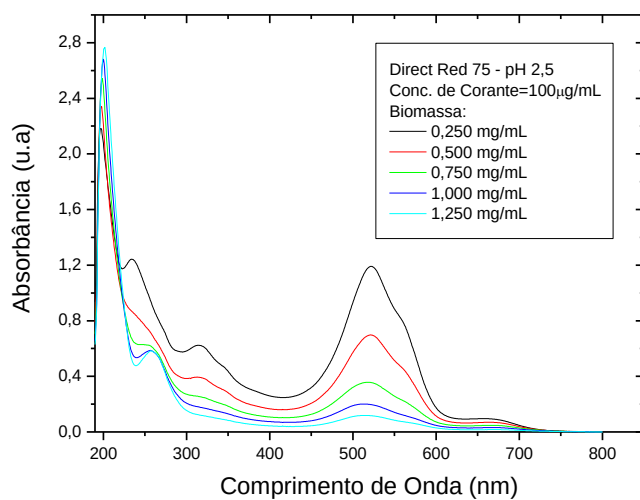
$\text{Abs}_{521,5\text{nm}} = -0,02306 + (0,01996 \times \text{Conc. de Corante})$

$R=0,99988$

4.9. Interação entre a *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada e o corante Direct Red 75 pelo método da biossorção no pH 2,5. (Figuras 41-a e 41-b).



(a)



(b)

Figura 41 - Espectros de absorção da interação entre a *S. cerevisiae* e o corante têxtil “Direct Red 75” no pH 2,5 nos casos: (a) Biomassa fixa em 0,500 mg/mL e concentração de corante variável com valores de 40, 50, 60, 80 e 100 µg/mL. (b) Concentração de corante fixa em 100 µg/mL e concentração de biomassa variável com valores de 0,250, 0,500, 0,750, 1,000, 1,250 mg/mL.

Tabela 11 - Dados do experimento para o caso da biomassa fixa e concentração de corante variável.

pH	Conc. de biomassa (mg/mL)	Conc. de corante inicial (µg/mL)	Conc. de corante remanescente (µg/mL)	Conc. de corante adsorvido (µg/mL)
2,5	0,500	40	8,08	31,92
		50	10,30	39,70
		60	13,03	46,97
		80	22,37	57,63
		100	36,80	63,20

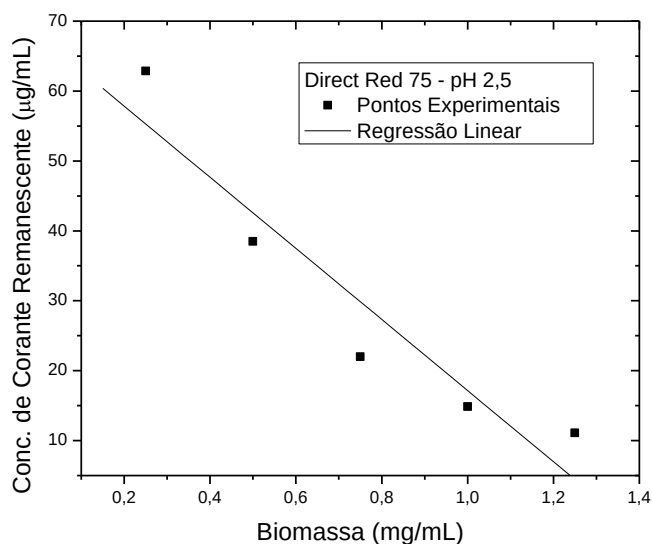
Tabela 12 - Dados do experimento para o caso onde a biomassa é variável e a concentração de corante é fixa.

pH	Conc. de biomassa (mg/mL)	Conc. de corante inicial (µg/mL)	Conc. de corante remanescente (µg/mL)	Conc. de corante adsorvido (µg/mL)
2,5	0,250	100	62,86	37,14
	0,500		38,49	61,51
	0,750		22,01	77,99
	1,000		14,88	85,12
	1,250		11,09	88,91

4.10. Reta de remoção para o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante “Direct Red 75” em solução é fixa em 100µg/mL (Figura 42).

Tabela 13 - Dados experimentais da biossorção.

pH	Conc. de biomassa (mg/mL)	Conc. de corante inicial (µg/mL)	Conc. de corante remanescente (µg/mL)	Conc. de corante adsorvido (µg/mL)
2,5	0,250	100	62,86	37,14
	0,500		38,49	61,51
	0,750		22,01	77,99
	1,000		14,88	85,12
	1,250		11,09	88,91

**Figura 42** - Correlação da biomassa com a concentração do corante Direct Red 75 remanescente, após o processo de interação biossortiva com a *S. cerevisiae* no pH 2,5, com concentração inicial de 100µg/mL.

Conc. remanescente de corante = 68,011 – (50,86 x Conc. de Biomassa)

R=0,98797

Tabela 14 - Estimativa da quantidade necessária de *S. cerevisiae* necessária para a remoção total do corante em uma solução de 10mL na concentração de 100ug/mL

pH	Biomassa (mg/mL)
2,5	1,337

4.11. Curvas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 75” e a *S. cerevisiae* liofilizada para o caso onde a biomassa é fixa e a concentração do corante “Direct Red 75” em solução é variável (Figura 43).

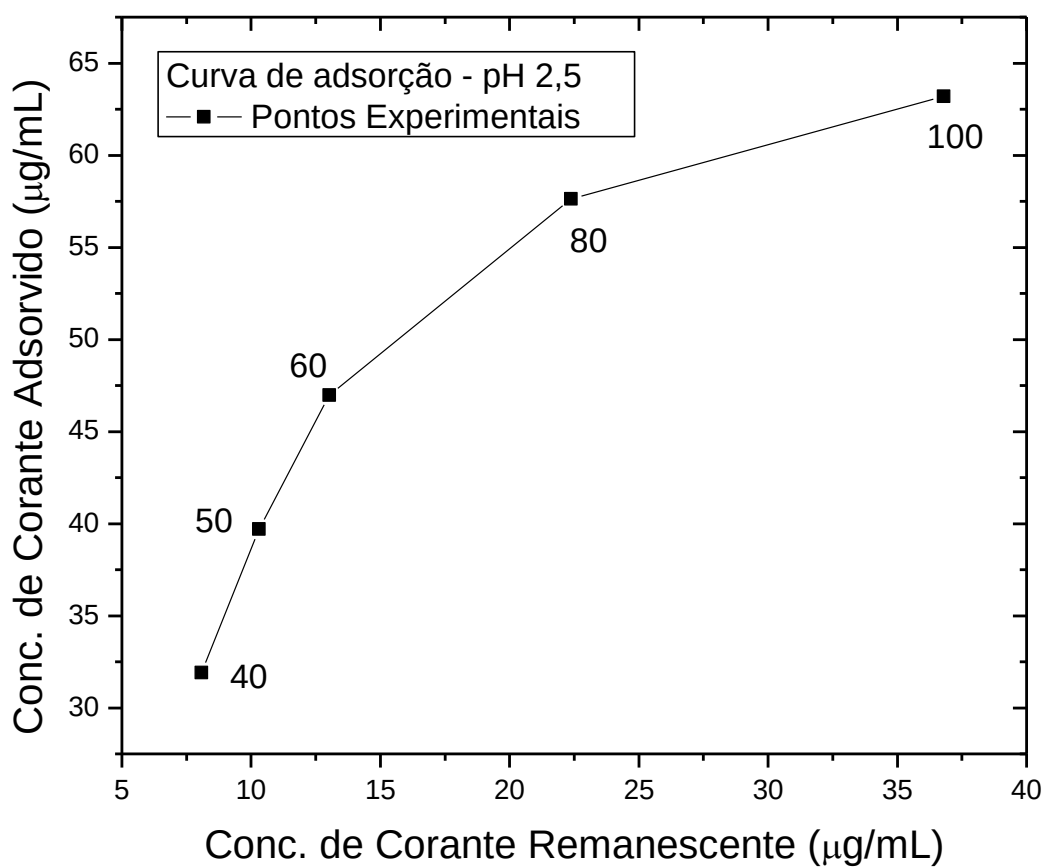


Figura 43 - Curva de adsorção no caso da biomassa fixa em 0,500mg/mL e concentração de corante DR 75 variável no pH 2,5.

4.12. Isotermas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 75” e a *S. cerevisiae* liofilizada para o caso onde a biomassa é fixa e a concentração do corante “Direct Red 75” em solução é variável (Figuras 44 e 45).

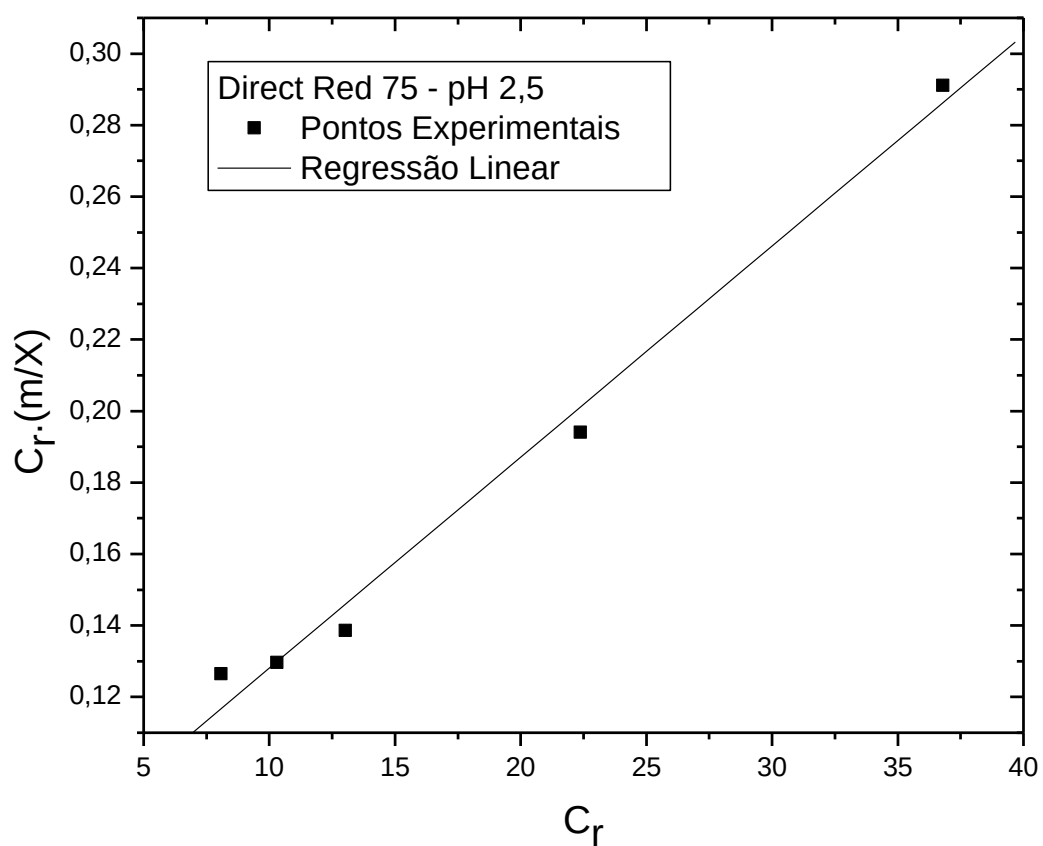


Figura 44 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 75 no pH 2,5. Isoterma de Langmuir. $C_r \cdot (m/x) = 0,06903 + (0,0059 \times C_r)$. $R=0,99432$.

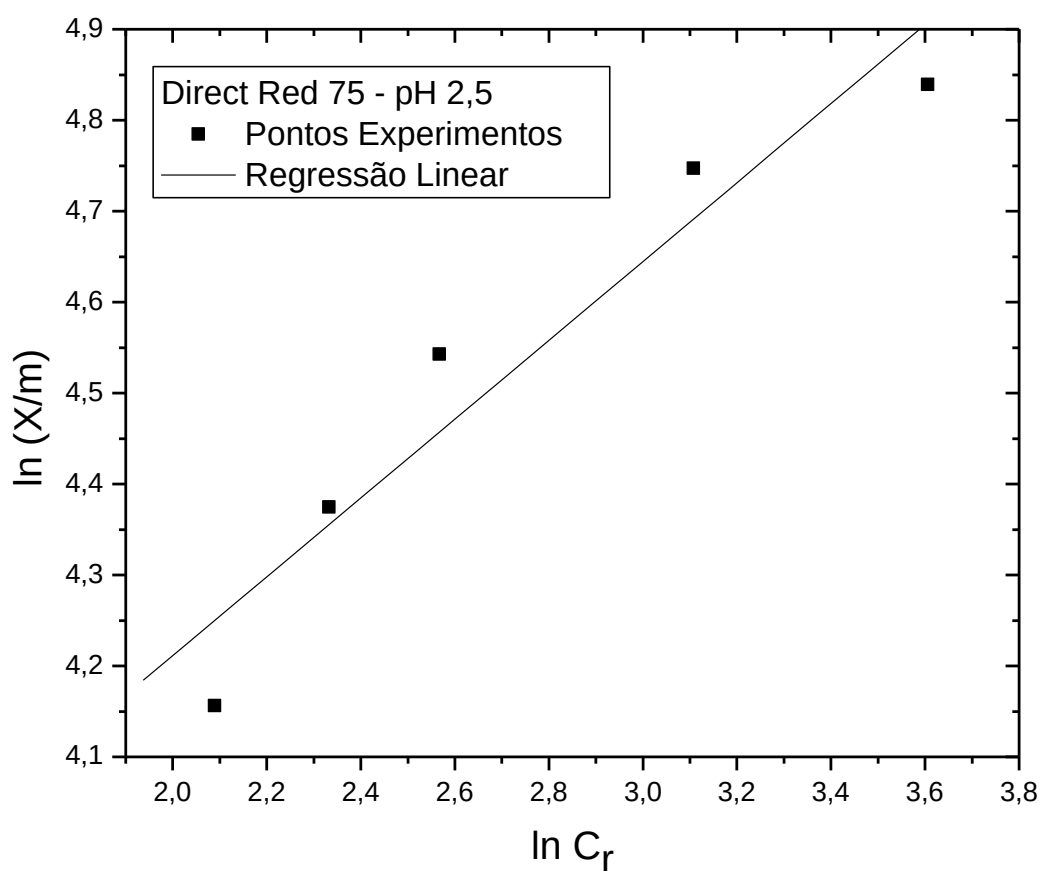


Figura 45 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 75 no pH 2,5. Isoterma de Freundlich. $\ln(X/m) = 3,34429 + (0,43347 \times \ln C_r)$. $R=0,95987$.

4.13. Isotermas de adsorção da interação entre o corante têxtil “Direct Red 75” e a *S. cerevisiae* liofilizada para o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante “Direct Red 75” em solução é fixa em 100µg/mL (Figuras 46 e 47).

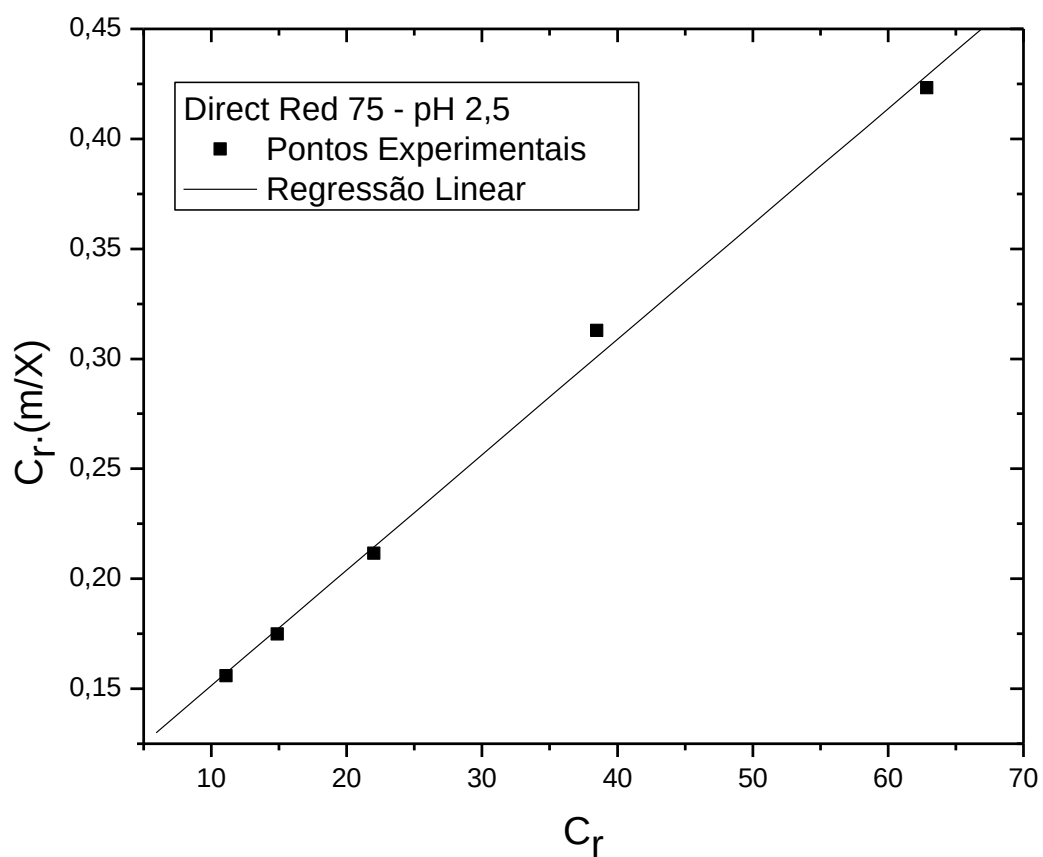


Figura 46 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 75 no pH 2,5. Isoterma de Langmuir. $C_r \cdot (m/x) = 0,09900 + (0,00525 \times C_r)$. $R=0,99810$.

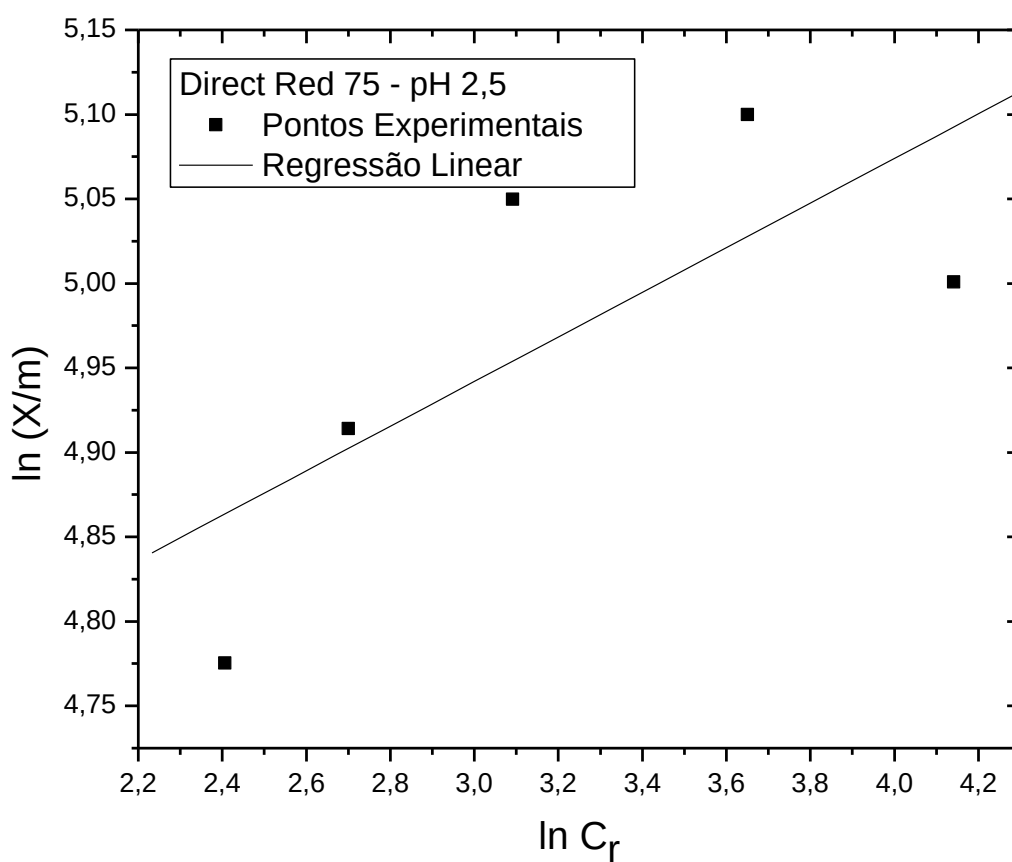


Figura 47 - Estudo da interação da *S. cerevisiae* e o corante têxtil Direct Red 75 no pH 2,5. Isoterma de Freundlich. $\ln(X/m) = 4,54583 + (0,13203 \times \ln C_r)$. $R=0,72750$.

Tabela 15 - Dados das isotermas de adsorção para o caso da biomassa fixa em 0,500mg/mL e concentração de corante variável.

	pH	R
Langmuir	2,5	0,99432
Freundlich		0,95987

Tabela 16 - Dados das isotermas de adsorção para o caso da concentração de corante fixa em 100µg/mL e concentração de biomassa variável.

	pH	R
Langmuir	2,5	0,99810
Freundlich		0,72750

5. DISCUSSÃO

5.1. Microorganismo

A *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada é de fácil obtenção e seu custo de manutenção é baixo. Isso nos indica que ele é um possível adsorvente de baixo custo em potencial. O processo de liofilização também não causa um grande encarecimento da produção da levedura, visto que muitas indústrias utilizam o processo de liofilização para desidratar sem retirar a água que contêm nos alimentos. Observando sua afinidade podemos determinar a alcalinidade do meio para que a eficiência de seu processo de biossorção seja alto.

5.2. Corantes utilizados

Os corantes diretos em sua maioria são azo-sulfonados e muito similares aos corantes ácidos em sua composição molecular, e com isso não há uma nítida demarcação entre as duas classes.

Comercialmente encontramos diversos corantes para tingir tecido em supermercados. Esses corantes que são vendidos no supermercado em sua maioria são do tipo corantes diretos e que contém um tipo de dispersante que funciona como um agente tenso-ativo. Ainda hoje a forma em que se dá a afinidade da celulose pelos corantes diretos ainda não foi totalmente explicada, podendo ocorrer por

interações de Van der Waals, visto que comporta-se como um dipolo elétrico. Uma das possibilidades é que a estrutura planar da molécula poderia interagir em toda sua extensão com as fibras do tecido. Eles são solúveis graças à presença dos grupos sulfônicos e de hidroxilas.

5.3. Obtenção dos espectros de absorção dos corantes

Conforme as análises espectrofotométricas realizadas para o corante “Direct Red 23” (Figuras 6 à 9 e 10 à 12), e para o corante “Direct Red 75” (Figuras 34 à 37 e 38 à 40), foi verificado que eles podem ser considerados estáveis levando em consideração as variações de pH, não apresentando diferenças significativas nos espectros de absorção das amostras submetidas aos valores 2,5; 4,5 e 6,5 de pH. Os comprimentos de onda máximos ficaram em torno de 507nm para o “Direct Red 23” e em 521,5nm para o “Direct Red 75”.

Como esses corantes se mostraram estáveis, conseguimos a partir da lei de Lambert-Beer quantificar a relação entre a quantidade de luz absorvida pela amostra com a concentração do corante em solução, obtendo assim as retas-padrão das soluções em seus três valores de pH (Figuras 10 à 12 e 38 à 40). Foi observado também que devido a sua estabilidade nos três valores de pH, a sua inclinação nestes comprimentos de onda, apresentam valores experimentais muito próximos.

5.4. Análise da interação entre a *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada com os corantes “Direct Red 23” e “Direct Red 75”

5.4.1. Direct Red 23

Nas figuras 13, 14 e 15; temos o espectro de absorção nos dois casos em que estudamos nesse trabalho: a) concentração de biomassa fixa e concentração de corante variável, e b) concentração de biomassa variável e concentração de corante fixa. Observando apenas esses espectros e comparando pode-se ver que a remoção de cor se dá com bastante intensidade em um pH mais ácido, e se dá de forma mais fraca em um pH mais básico. Nas tabelas 3 e 4 podemos observar isso de forma mais clara, vendo, por exemplo, que no caso da biomassa fixa em um

concentração de corante de 100µg/mL no pH 2,5 teve um total de concentração remanescente de 76,36µg/mL e no pH 6,5 de 95,85µg/mL. Mostrando-nos que o pH 2,5 é um pH muito bom para a interação bioassortiva da *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada. Outra situação que nos mostrou esse efeito é quando utilizando o caso onde a biomassa é variável e a concentração do corante varia, pois com ele conseguimos estimar uma quantidade mínima necessária para a remoção total do corante em uma solução de 10 mL. Nas figuras 16, 17 e 18 mostramos a correlação entre a biomassa utilizada e a concentração remanescente de corante após o processo de bioassorção. Na tabela 8 temos quantificado a nossa estimativa que foi obtida através da regressão linear e extrapolação dos pontos, obtendo assim para o pH 2,5 uma quantidade de 1,402 mg/mL, no pH 4,5 uma quantidade de 8,866 mg/mL e no pH 6,5 uma quantidade de 9,286 mg/mL, nos mostrando então uma grande afinidade com o meio ácido.

5.4.2. Direct Red 75

Na figura 41 temos os espectros de absorção nos dois casos citados acima para o “Direct Red 75”. Observando esses espectros e comparando com os espectros do controle podemos ver que a remoção é muito forte no pH 2,5. Nas tabelas 11 e 12, podemos observar para cada caso a quantidade de corante remanescente após a interação bioassortiva entre o respectivo corante e a *S. cerevisiae* liofilizada. Um exemplo de que a remoção é bem efetiva é no caso onde a biomassa é fixa e a concentração de corante é 100 µg/mL, nesse caso a concentração remanescente de corante foi de 36,80 µg/mL. Estimamos também a quantidade de biomassa necessária para a remoção total do corante em uma solução de 10mL, fazendo a correlação entre a concentração remanescente de corante com a biomassa (Figura 42). Fazendo uma regressão linear e extrapolando obtivemos que a quantidade de biomassa necessária para a remoção total do corante é de 1,337 mg/mL, como mostra a tabela 14. Não foi analisada a interação bioassortiva do “Direct Red 75” nos pH’s 4,5 e 6,5 devido ao fato de que não houve remoção considerável.

5.5. Isotermas de adsorção

Nas figuras 19, 20 e 21; podemos observar o comportamento do sistema quando temos a biomassa fixa, analisando como se dá a adsorção das moléculas do corante “Direct Red 23” com a biomassa. Na figura 19, nos temos um caso em que a quantidade de corante adsorvido e remanescente, se mantêm ‘aproximadamente’ constante, isso indica que nós começamos o experimento com uma quantidade de biomassa que quase ‘saturou’ com aquela quantidade de corante que utilizamos no pH 2,5. Na figura 20, nos já temos uma pequena diferença a quantidade de corante adsorvido pela concentração de corante remanescente começa crescente e depois tende a um equilíbrio, se extrapolarmos os resultados, no pH 4,5. Já na figura 21, nos temos uma reta, isso indica que para o pH 6,5 não atingimos o ponto de saturação da biomassa. Essa relação nos leva ao fato de que no pH 2,5 o comportamento é de monocamada, ou seja, se adapta a isoterma de Langmuir; já no pH 6,5 o comportamento é de multicamada, visto que não foi atingido o ponto de saturação. Já no caso onde a biomassa é variável e a concentração de corante é fixa, não conseguimos utilizar essa relação, pois ela não consegue nos mostrar o ponto de saturação, visto que estamos variando a quantidade de biomassa, sendo assim a única possibilidade de sabermos o comportamento dela, é aplicando as isotermas diretamente e observando os coeficientes de correlação.

Na figura 43, podemos observar o mesmo caso citado acima para o corante “Direct Red 75”, mas de forma mais clara, visto que essa figura nos mostra perfeitamente a tendência de saturação da biomassa, nos levando então a prever um comportamento de monocamada.

Nas figuras 22 a 27, temos as isotermas de adsorção do “Direct Red 23” para o caso de biomassa fixa e concentração de corante variável. Nas figuras 28 a 33, temos as isotermas de adsorção do “Direct Red 23” para o caso onde a biomassa é variável e a concentração de corante é fixa. Nas tabelas 9 e 10 temos os respectivos valores do coeficiente de correlação para cada isoterma em seu respectivo pH. Com base nele, podemos ver que no caso da biomassa fixa, no pH 2,5 a *S. cerevisiae* se comporta como monocamada, no pH 4,5 ela é tanto monocamada quanto multicamada e no pH 6,5 ela se comportou como multicamada, como a análise anterior nos previa para esse caso. Já no caso onde a biomassa é variável, no pH

2,5 ela se comportou como monocamada, no pH 4,5 e 6,5 ela se comprou tanto como monocamada como multicamada.

Nas figuras 44 e 45, temos as isotermas de adsorção do “Direct Red 75” para o caso onde a biomassa é fixa e a concentração de corante é variável. Nas figuras 46 e 47, temos as isotermas de adsorção do “Direct Red 75” para o caso onde a biomassa é variável e a concentração de corante é fixa. Nas tabelas 15 e 16, temos os respectivos valores dos coeficientes de correlação para cada isoterma no pH 2,5. Com base nele, podemos ver que para o caso da biomassa fixa, deu aquilo que pressupomos através da análise da saturação, resultando em um comportamento de monocamada. No caso em que a biomassa é variável obtivemos também que a melhor isoterma que descreve a interação biossortiva é a isoterma de Langmuir que descreve um sistema de monocamada.

6. CONCLUSÃO

Para o “Direct Red 23” no caso da biomassa fixa e concentração de corante variável, quando estamos em um pH ácido como, por exemplo, o pH 2,5, temos uma interação do tipo monocamada que é bem descrita pelas isotermas de Langmuir e isso acontece provavelmente por causa de que os grupos sulfônicos estão na sua forma reduzida ($-\text{SO}_3\text{H}$) e a sua aderência se faz preferencialmente com a parede celular da *S. cerevisiae*. Quando o pH começa a ficar menos ácido, inicia-se também uma interação entre as próprias moléculas do corante. No pH 4,5 praticamente parte das moléculas do corante interagem com a parede celular da *S. cerevisiae* e parte com as outras moléculas do corante, por isso os dados experimentais serviram tanto para a isoterma de Langmuir quanto para a isoterma de Freundlich, sendo assim temos partes em que as moléculas do corante aderem na parede celular e em outra que elas interagem com as moléculas de corante que já tenham sido aderidas a parede celular (tanto monocamada quanto multicamada). No pH 6,5 inicia-se uma interação muito mais forte entre as próprias moléculas do corante e pouquíssima interação com a parede celular da *S. cerevisiae*, ficando assim adsorvido em múltiplas camadas e obedecendo a isoterma de Freundlich.

Para o “Direct Red 23” no caso da biomassa variável e concentração de corante fixa, em teoria deveríamos ter o mesmo resultado acima, entretanto, no pH 2,5 a interação entre a *S. cerevisiae* e as moléculas do corante satisfazem a isoterma de Langmuir agindo também como monocamada, como era esperado. No pH 4,5 nos

temos que a isoterma de Langmuir ainda está sendo melhor satisfeita, entretanto a isoterma de Freundlich está começando ser obedecida, isso acontece pois não são todas as unidades de *S. cerevisiae* que conseguem interagir uniformemente com o meio e com as moléculas do corante, visto que variamos a quantidade de *S. cerevisiae* e com isso aumentando bastante o número de células disponíveis. No pH 6,5 nos temos o que aconteceu para o caso anterior, as moléculas do corante estão interagindo tanto entre si quanto com a parede celular da *S. cerevisiae*, fazendo então tanto uma adsorção multicamada quanto monocamada. Muito provavelmente se aumentarmos a basicidade do meio, ir, por exemplo, para um pH 8,5, o sistema iria obedecer as Isotermas de Freundlich, da mesma forma que aconteceu no caso anterior. Esses resultados explicam o porque da grande diferença de quantidade de *S. cerevisiae* para remover totalmente o corante.

Para o “Direct Red 75” em ambos os casos, obtivemos no pH 2,5 que a interação biossorbitiva entre a *S. cerevisiae* com as moléculas do corante deu-se obedecendo a isoterma da Langmuir, onde sobre a parede celular da levedura forma-se um ‘filme’, onde se tem um maior empacotamento das moléculas sobre a parede celular da levedura. E isso também explica a pequena quantidade de biomassa necessária para remover totalmente o corante de solução.

Esse trabalho mostra que as Isotermas de Langmuir e Freundlich são muito boas para se estudar a interação biossorbitiva entre corantes têxteis diretos e a *S. cerevisiae*, mais conhecida como, fermento de pão. É evidente a potencialidade da aplicabilidade dessas isotermas, e sua grande importância, na tentativa de aumentar a eficiência da adsorção, para reduzir custos principalmente nas indústrias ou zonas de tratamento de águas. Outras informações que essas isotermas nos podem dizer é a capacidade de adsorção de cada adsorvente, e às vezes pode nos indicar qual o melhor caminho para poder aumentar essa capacidade sem que o custo de produção ou tratamento aumente muito, já que no âmbito industrial a economia de gastos é muito importante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AKSU, Z. Biosorption of reactive dyes by dried activated sludge: equilibrium and kinetic modeling. **Biochemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 79-84, jan. 2001.

ALMEIDA, A. C. M. **Estudo da biodegradação de corantes azóicos por inóculos provenientes de biodigestor anaeróbico de alimentos**. 2005. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

BALAN, D. S. L. Biodegradação e Toxicidade de Efluentes Têxteis. **Revista Química Têxtil**, Barueri, v. 22, p.26-31, 1999.

BALAN, D. S. L.; MONTEIRO, R. T. R.; MINHOZ, J. S. Potencial de aplicação de fungos brasileiros em biotecnologia – descoloração de corantes e efluentes têxteis. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL – APLICAÇÃO DA BIOTECNOLOGIA NA INDÚSTRIA TÊXTIL, Blumenau, **Anais do Seminário Internacional** – Aplicação da Biotecnologia na Indústria Têxtil, p. 128-135, 2001.

BALL, D. W. **Físico-Química**. 2ed, v. 2, . Pioneira Thomson Learning, 2006.

BANAT, I. M.; NINGAM, P.; SINGH, D.; MARCHANT, R. Microbial decolorization of textile dye containing effluents: A Review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 58, n. 3, p. 217-227, 1996.

BANAT, I. Microbial decolorization of textile dye containing effluents: A Review. **Bioresource Technology**, v. 58, p. 210-227, 1996.

BRAHIMI-HORN, M. C.; LIM, K. K.; LIANG, S. L.; MOU, D. G. Binding of textile azo dyes by *Myrothecium verrucaria* Orange II, 10B (blue) and RS (red) azo dye uptake for textile wastewater decolorization. **Journal of Industrial Microbiology**, Amsterdam, v. 10, p. 245-261, 1992.

CHIPPINDALE, C.; TAÇON, P. S. C. The Archaeology of Rock –Art, 1998

CORSO, C. R. **Aplicabilidade das equações de Freundlich e Langmuir e o estudo da toxicidade, na interação biossorbitiva entre *Aspergillus oryzae* paramorfogênico e corantes azóicos em solução aquosa.** 1998. 115f. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Biociências, Biofísica, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

CORSO, C. R.; DOMINGOS, R. N.; EPIPHANIO, R.; TREVISOLI, C. Estudo da interação adsorbtiva entre o carvão de osso e o corante “Direct Violet 51” em solução aquosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 15, 1997, São Carlos. PII-32.

CORSO, C. R.; MARCANTI, I; YAMAOKA, E. M. T. Applicability of the Equations of Freundlich and Langmuir to the adsorption of the azo dye Procion Scarlet on paramorphic colonies of *Neurospora crassa*. **Brazilian J. Med. Biol. Res**, v. 20, p. 623-626, 1987.

DOS SANTOS, M. A. S. Apostila experimental sobre isotermas de adsorção. Santa Maria: 2003. Disponível em: <w3.ufsm.br/juca/adsorcao.pdf>. Acesso em: 04/10/2011.

EL-GEUNDI, M. S. Colour removal from textile effluents by adsorption techniques. **Water Research**, v. 25. n. 3., p. 271-273, 1991.

ENGENHARIA. Os trinta anos da Sabesp. São Paulo, Julho/Ago, 2003, n. 558, p. 42-118, 2003. Edição especial.

FABER, K. **Biotransformations in Organic Chemistry**. 3 ed. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 402p.

FU, Y.; VIRARAGHAVAN, T. Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 79, n. 3, p. 251-262, set. 2001.

GUARANTINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

HALLER, M. Tratamento de Efluentes. *Textília*, v. 7, p. 48-49, 2003.

KRUCKEBERG, A. L.; WALSH, M. C.; DAM, K. V. How do yeast cells sense glucose? **BioEssays**, Cambridge, v. 20, n. 12, p. 972-976, 1998.

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

MARCANTI, I. **Aplicabilidade das isothermas de Freundlich e Langmuir na interação adsorbtiva entre *Aspergillus Níger* Iz-9 paramorfogênico e corantes azóicos básicos, ácidos, diretos e reativos: Influência do pH e Temperatura**. 1988. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas na área de Biologia Vegetal) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1988.

MEYER, U. Biodegradation of Synthetic organic colorants. In: FEDERATION OF EUROPEAN MICROBIOLOGICAL SOCIETES. **Symposium**, v. 12, p. 371-385, 1981.

MICHAELS, G. B.; LEWIS, D. L. Sorption and toxicity of azo and triphenyl methane dyes to aquatic microbial populations. **Environmental Toxicol. Chem.**, v. 4, p. 45-50, 1985.

MOU, D. G.; LIM, K. K.; SHEN, H. P. Microbial agents for decolorization of dye wastewater. **Biotechnology Advanced**, New York, v. 9, p. 613-622, 1991.

NAWAR, S. S.; DOMA, H.S. Removal of dyes from effluents using low cost agricultural by-products. **Science Total Environ.**, v. 79, p. 271-279, 1989.

NINGAM, P.; BANAT, I. M.; SINGH, D.; MARCHANT, R. Microbial process for the decolorization of textile effluent containing azo, diazo and reactive dyes. **Process Biochemistry**, v. 31, n. 5, p. 435-442, 1996.

PAGGA, U.; BROWN, D. The Degradation of dyestuff: part ii – behavior of dyestuffs aerobic biodegradation tests. **Chemosphere**, Londres, v. 15, n. 4, p. 479-491, 1986.

PERALTA-ZAMORA, P.; TIBURTIUS, E. R. L.; MORAES, S. G.; DURAN, N. Degradação Enzimática de Corantes Têxteis. **Química Têxtil**, São Paulo, v. 68, p. 32-38, 2002.

PORRO, D.; BRAMBILLA, L.; RANZI, B. M.; MARTEGANI, E.; ALBERGUINA, L. Development of metabolically engineered *Saccharomyces cerevisiae* cells for production of lactic acid. **Biotechnology Progress**, New York, v. 11, p. 294-298, 1995.

RAMAKRISHNA, K. R.; VIRARAGHRAVAN, T. Dye removal using low-cost adsorbents. **Water Sci. Tech.**, v. 36, n. 2-3, p. 189-196, 1997.

RODRIGUES, H. D. P. **Potencial biossortivo e biodegradativo da “*Saccharomyces cerevisiae*” imobilizada em alginato de cálcio e em células livres na remoção de corantes têxteis de efluente.** 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas na área de Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

RODRIGUES, J. A. R.; MORAN P.J.S. Reduções enantiosseletivas de cetonas utilizando-se fermento de pão. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 6, 2001.

ROMANE, A. Curso d'água, SABESP. Companhia do Saneamento Básico de São Paulo. São Paulo: Edição Antônio Romane, 1998.

SCHNEIDER, K.; HAFNER, C.; JAGER, I. Mutagenicity of textile dye products. **Journal of Applied Toxicology**, Chichester, v. 24, p. 83-91, 2004.

SHAUL, G. M.; HOLDSWORTH, T. J.; DEMPSEY, C. R.; DOSTAL, K. A. Fate of water soluble azo dyes in the activated sludge process. **Chemosphere**, v. 22, n. 1-2, p. 107-119, 1991.

STAMBUK, B. U. A simple experiment illustrating metabolic regulation: induction versus repression of yeast α -glucosidase. **Biochemical Education**, New York, v. 27, n. 3, p. 177-180, jul. 1999.

STEWART, J. D. Organic transformations catalyzed by engineered yeast cells and related systems. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 11, n. 4, p. 363-368, ago. 2000.

TRINDADE, R. C. **Adsorção dos azo-corantes Crisoidona CI 11.270 e Amaranto CI 16185 por células de leveduras do gênero *Rhodotorula*: Influência de alguns componentes celulares e temperatura**. 1986. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas na área de Biologia Vegetal) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1986.

VAIDYA, A. A.; DATYE, K. V. Environmental pollution during chemical processing of synthetic fibers. **Colourage**, v. 14, p. 3-10, 1982.

VITOR, V. **Emprego de linhagem selvagem de *Candida albicans* isolada de efluente industrial para avaliação da biossorção/biodegradação do corante azóico "Direct Violet 51"**. 2005. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas na área de Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

WELHAM, A. The theory of dyeing (and the secret life). **J. Soc. Dyers Colour**, v. 116, p. 140-143, 2000.

ZEE, F. P. VAN DER. Anaerobic dye reduction. Wageningen, The Netherlands, Doctoral Thesis Wageningen University, 142p, 2002.

ZEROUAL, Y.; KIM, B. S.; KIM, C. S.; BLAGHEN, M.; LEE, K. M. A Comparative Study on Biosorption Characteristics of Certain Fungi for Bromophenol Blue Dye. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 134, p. 51-60, 2006.

ZOLLINGER, H. Azo dyes and pigments: Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments. **Colour Chemistry**, VCH, New York, p. 92-102, 1987.