

Carlos Henrique Dullius

# **UTILIZAÇÃO DE FUNGOS PARA BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS SINTÉTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional – Mestrado e Doutorado da Universidade de Santa Cruz do Sul, para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional.

Orientador: Dr. Diosnel Antonio Rodriguez Lopez

Co-orientador: Dr. Valeriano Antonio Corbellini

Santa Cruz do Sul, março de 2004

*“Entrei na floresta para sugar a essência da vida, deixando nela tudo que não era vida, para morrer sem medo de não ter vivido.”*

*(Filme: Sociedade dos Poetas Mortos)*

*Dedico este trabalho inteiramente aos meus pais, Sirio Edgar Dullius e Marlene Dullius, que durante toda a minha vida me deram base e sustentação para que eu pudesse chegar até aqui.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade de Santa Cruz do Sul. À CAPES (Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa. Agradeço também, aos professores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, que através de seus conhecimentos me permitiram ver o mundo sob uma outra ótica. Aos professores Dr. Diosnel Antonio Rodriguez Lopez e Dr. Valeriano Antonio Corbelini pela orientação deste trabalho. E ao Químico Nadir Hermes do laboratório de Cromatografia, pelo apoio técnico prestado.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Cássia, Janice e Vera, que sempre, com muita eficiência, estiveram dispostas para ajudar em tudo que lhes foi solicitado.

Aos estimáveis colegas de mestrado e meus grandes amigos Laura Regina Cardoso Krolow e José Antônio Weikamp da Cruz, pela agradável companhia durante todo período desta caminhada. Em especial a Laura pelo apoio concedido.

Agradeço também, a grande amiga e colega Selma Brenner Acosta, que através da sua alegre companhia, transformou momentos de “stress” em momentos mais descontraídos.

Um agradecimento muito especial à Adriana Ghignatti pelo grande apoio e estímulo que me ajudaram a ultrapassar barreiras que naturalmente surgiram.

## RESUMO

Entende-se que o desenvolvimento de uma região é resultado de uma série de transformações quali-quantitativas que se traduzem na sociedade. Porém, as regiões industrializadas, quando não preocupadas com a questão ambiental, podem comprometer seus aspectos naturais, desencadeando uma série de impactos ambientais. Neste sentido, a forma de disposição dos rejeitos industriais devem estar inseridos nas estratégias regionais, bem como na matriz produtiva. Contudo, e considerando o tratamento dos efluentes industriais têxteis, que contém altas cargas de corantes, provenientes de perdas durante os processos de tingimento, este estudo tem por objetivo, utilizando-se do Método Experimental Indutivo, verificar a capacidade de biodegradação de corantes têxteis sintéticos, através da utilização de fungos. Estes corantes possuem características estruturais complexas que dificultam sua remoção através das técnicas convencionais que geram um lodo de classe I, e por este motivo, necessitam de técnicas de tratamento específicas, capazes de minimizarem possíveis riscos ambientais. Para tal, durante o período de março e abril de 2003, na Região do Vale do Rio Pardo, foram coletadas amostras de efluente têxtil, solos de lavoura de fumo e de mata nativa, lodo de fundo de lago e chorume de lixão, totalizando 40 amostras. Das colônias de fungos encontradas, selecionaram-se 17 mais representativas. Isoladas, estas colônias, foram submetidas à testes de descoloração de oito corantes comumente utilizados por uma indústria têxtil, localizada no Município de Santa Cruz do Sul. Mediante os resultados dos testes, verificou-se a eficiência de três colônias de fungos na descoloração. Destas utilizou-se apenas uma, para a realização dos testes de descoloração de dois corantes têxteis, aqueles que foram mais solúveis, facilitando a preparação dos efluentes têxteis sintéticos em laboratório. Consequentemente, após identificação taxonômica, verificou-se que o fungo selecionado pertence ao gênero *Aspergillus*. Os resultados obtidos demonstraram a alta eficiência deste fungo, na degradação completa dos corantes presentes nos efluentes têxteis sintéticos. Verificou-se a capacidade de descoloração do fungo através da absorção de 86% e 91%, após um período total de 4 horas, respectivamente, dos corantes utilizados na preparação dos efluentes. Posto isto, pressupõem-se que qualquer ação em prol do desenvolvimento das regiões deve vislumbrar a implementação de tecnologias que tendem à reduzir os problemas ambientais, seja, mediante a utilização de técnicas convencionais (físicas, químicas, biológicas e físico-químicas) que apresentam comprovada eficiência.

Palavras Chave: Descoloração/Biodegradação; Tratamento de Efluentes Têxteis; *Aspergillus*

## ***ABSTRACT***

The development of a region is understood in this study as the result of a series of quali-quantitative transformations that translate themselves in the society. However, the industrialized regions, when not worried to the ambient question, can compromise its natural aspects, unchaining a series of ambient impacts. In this direction, the form of disposal of the industrial effluents must be inserted in the regional strategies, as well as in the productive matrix. Considering the treatment of the textile industrial effluents, that contains high loads of dyes, proceeding from losses during the coloration processes, this study has for objective, using the Inductive Experimental Method, to verify the capacity of biodegradation of synthetic textile dyes, through the use of fungus. These dyes have structural characteristics that difficult its removal through the conventional ways, and for this reason, need specific techniques of treatment, capable to minimize possible environmental risks. For such, during the period of March and April of 2003, in the Vale do Rio Pardo, samples of textile effluents, soil of tobacco farms and native forests, silt of lakes and "chorume" had been collected, totaling 40 samples. From the found fungus colonies were selected 17 more representative. Isolated, these colonies, had been submitted to the tests of discoloration with eight dyes commonly used by textile industries, located in the city of Santa Cruz do Sul. By means of the results of the tests, was verified the efficiency of three colonies of fungus in the discoloration. Of these only one was used, for the accomplishment of the tests of biodegradation of two dyes, those that had been more soluble, facilitating the preparation of the synthetic textile effluents in laboratory. Consequently, after taxonomical identification, was verified that the selected fungo belongs to the *Aspergillus* sort. The gotten results have demonstrated the high efficiency of this fungo, in the total degradation of the dyes in the synthetic textile effluent. It was still verified the capacity of this fungo, in the absorption of 86% and 91%, after a total period of 4 hours, respectively, of the dyes used in the preparation of the effluents. Rank this, it is estimated that any action in favor of the development of the regions must glimpse the implementation of technologies that tend to reduce the ambient problems, or either, by means of the use of conventional techniques (physical, chemistry, biological and physical-chemistry) that present proven efficiency.

Key Words: Decoloration/Biodegradation, Textil Wastewater Treatment, *Aspergillus*

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
1 O SIGNIFICADO DA ÁGUA PARA O DESENVOLVIMENTO.....	13
1.1 O SIGNIFICADO DA ÁGUA PARA AS ANTIGAS CIVILIZAÇÕES.....	13
1.2 A ÁGUA E O DESENVOLVIMENTO: DA IDADE MÉDIA À ATUALIDADE.....	15
2 A BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS PARDO/PARDINHO.....	22
2.1 DISPONIBILIDADES HÍDRICAS DA BACIA.....	22
2.2 A CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES .....	27
2.3 OS POLUENTES DE ORIGEM INDUSTRIAL.....	30
2.4 A INDÚSTRIA TÊXTIL E SEUS EFLUENTES.....	31
2.4.1 Os corantes têxteis.....	32
3 UTILIZAÇÃO DE FUNGOS PARA BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS SINTÉTICOS.....	36
3.1 BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS ATRAVÉS DO USO DE FUNGOS .....	38
3.2 SELEÇÃO E ISOLAMENTO DE FUNGOS.....	39
3.2.1 Indução de crescimento e descoloração dos corantes têxteis.....	40
3.2.1.1 Indução.....	40
3.2.1.2 Descoloração.....	42
3.3 BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS.....	44
3.4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA FÚNGICA PARA REMOÇÃO DE CORANTES.....	47
3.4.1. Seleção e isolamento de fungos.....	47
3.4.2 Descoloração de corantes.....	54
3.5 BIODEGRADAÇÃO.....	57
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
ANEXO.....	67
ANEXO A – curva analítica DOS CORANTES 4 E 6, RESPECTIVAMENTE.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

## **LISTA DE FIGURAS**



## **LISTA DE TABELAS**

## INTRODUÇÃO

A acelerada poluição dos recursos hídricos, geralmente está relacionada à dinâmica dos processos econômicos, que associada ao crescimento demográfico, compromete a conservação dos recursos naturais. Retroalimentando os problemas sócio-ambientais.

Segundo o Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems (1992), os efeitos da poluição hídrica incidem diretamente sobre o homem, causando impactos na saúde e alterações no comportamento das populações, na economia (indústria e turismo) e no ambiente devido à degradação da paisagem, perturbação e alteração dos ecossistemas.

Têm-se percebido no Brasil, nas últimas décadas, uma tendência para a implementação de instrumentos legais e institucionais, além de um esforço em desenvolver novas tecnologias, relacionados à conservação dos recursos hídricos e ao tratamento dos diversos tipos de efluentes de origem industrial.

Considerando que o tratamento e a disposição dos efluentes industriais, e a preservação do meio ambiente, de uma forma geral, está estreitamente relacionada com a dinâmica de desenvolvimento de uma região, o presente trabalho teve como objetivo central, contribuir com a gestão e o tratamento dos efluentes industriais, através de um estudo sobre a capacidade de biodegradação dos corantes têxteis, através da utilização de espécies fúngicas originárias de amostras de solo da Região de Santa Cruz do Sul. Com isto, procurar-se-á o desenvolvimento de uma nova técnica que permita o tratamento deste tipo de efluente sem a geração de um passivo ambiental (lodo) que deva ser posteriormente aterrado. A eliminação de alumínio residual dos efluentes também é um ganho ambiental.

A indústria, depois da agricultura, é o setor produtivo que mais utiliza a água para seus mais diversos tipos de processos. Assim, é considerada uma grande consumidora de água e ao mesmo tempo responsável pela mais grave forma de poluição através do lançamento, muitas vezes direto, dos seus efluentes nos cursos d'água.

Geralmente a pressão causada pelos efluentes industriais sobre o meio ambiente, como é o caso também dos efluentes industriais têxteis, torna-se ainda mais intensa pela falta de tecnologias adequadas capazes de minimizarem os efeitos tóxicos e poluentes destes efluentes.

Conforme Vazoller (2002), estima-se que no Brasil 20% dos corantes têxteis, utilizados nos processos de tingimento de fibras, sejam descartados nos efluentes devido a perdas ocorridas

durante o processo. Um dos maiores problemas ambientais associados aos efluentes industriais têxteis é a incapacidade do meio ambiente para depurar os corantes nele contidos, uma vez que, quando lançados em altas concentrações na natureza, apresentam efeitos tóxicos imediatos ou cancerígenos. Ao mesmo tempo, interferem na bioacumulação nos organismos com conseqüências em toda a cadeia alimentar e na própria saúde humana.

Nesta perspectiva, o referencial teórico adotado para o desenvolvimento deste trabalho está baseado no Método Experimental Indutivo, que segundo Köche (1997) é o método que cria e produz situações em condições específicas, geralmente, com elevado poder de manipulação das variáveis. Neste Método, busca-se refazer as condições de um fato a ser estudado, para observá-lo sob controle, e para tal, utiliza-se de local apropriado, aparelhos e instrumentos de precisão para demonstrar o modo ou as causas pelas quais um fato é produzido, proporcionando assim, o estudo de suas causas e efeitos (Keller & Bastos, 1991. p. 54-58).

Portanto, o Método adaptou-se às técnicas laboratoriais, executadas neste trabalho e que permitiram a obtenção e a otimização dos resultados obtidos em laboratório através de condições e limites já existentes na natureza.

Os estudos científicos da área da hidrologia mostraram o agravamento da situação pelo uso indiscriminado dos sistemas hídricos. Assim como, os programas nacionais e internacionais de financiamento para a gestão destes recursos verificaram a importância e a falta de tecnologias capazes de minimizarem os problemas de poluição da água. (Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems, 1992).

Vários estudos mostraram que as tecnologias como a biodegradação quando associadas às formas convencionais de tratamento de efluentes, mostram-se eficientes na remoção de diferentes tipos de poluentes, neste caso os corantes têxteis, com isto, minimizando possíveis riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, ocasionando o acúmulo de poluentes persistentes em organismos vivos (Kunz, et al. 2002).

Como mencionado anteriormente, o atual trabalho visa contribuir com a gestão integrada dos recursos hídricos na Região do Vale do Rio Pardo, através do desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para o tratamento de efluentes industriais, como a biodegradação.

Para tanto, este trabalho encontra-se estruturado em quatro capítulos. Primeiramente, fez-se resgate sobre importância dos recursos hídricos para o desenvolvimento das regiões. Abordou-se também o significado e a simbologia mítica da água para as antigas civilizações, bem como suas preocupações em manter os aspectos quali/quantitativos, assim como sua disponibilidade.

Descreve-se no segundo capítulo alguns aspectos sobre as características da Bacia Hidrográfica dos Rios Pardo/Pardinho no que se refere às disponibilidades hídricas que esta representa para a região onde está inserida. Após, menciona-se sobre a origem e a caracterização dos efluentes gerados na área de abrangência da bacia, dando ênfase aos

efluentes industriais, mais especificamente sobre os efluentes industriais têxteis.

No terceiro capítulo relata-se sobre as formas de tratamento de efluentes industriais têxteis, assim como as novas tecnologias baseadas nos processos biológicos de tratamento. Também são apresentados os procedimentos metodológicos e os resultados que demonstraram a capacidade de descoloração de corantes presentes em efluentes industriais têxteis, através da utilização de fungos originários da Região de Santa Cruz do Sul.

Finalmente, são feitas algumas considerações sobre a importância das técnicas de biodegradação no tratamento dos efluentes industriais têxteis, na perspectiva do desenvolvimento das regiões com base sustentável.

# 1 O SIGNIFICADO DA ÁGUA PARA O DESENVOLVIMENTO

## 1.1 O significado da água para as antigas civilizações

Desde as antigas civilizações a água sempre foi um recurso natural, não renovável, importante para o desenvolvimento das comunidades através dos seus mais diversos usos. Porém, naquele período problemas decorrentes da poluição deste recurso, já eram decisivos para o desenvolvimento das diversas civilizações<sup>1</sup>.

Cassier et al. (1973), afirmaram que além da importância vital que a água representa para a fauna, a flora e para o próprio homem, destaca-se ainda a sua importância relacionada ao simbolismo e as representações míticas que influenciam as ações humanas sobre o mundo natural. A visão mítica sobre os recursos hídricos, era anterior à filosofia racionalizante e serviu como modelo explicativo para a vida terrena durante a maior parte da história humana e jamais foi totalmente abolida, assim, a água, por ser um dos elementos vitais para todas as sociedades, era revestida também por um vasto conteúdo simbólico<sup>2</sup>, demonstrando a sua importância na organização e no desenvolvimento das primeiras civilizações situadas nas margens de grandes rios e nas encostas mediterrâneas.

Ferenczi (1995) e Schama (1995) complementam esta visão, acrescentando que:

“ver um rio equivale a mergulhar numa grande corrente de mitos e lembranças, forte o bastante para nos levar ao primeiro elemento aquático de nossa existência intra-uterina. E, com essa corrente, nasceram algumas das nossas paixões sociais e animais mais intensas: as misteriosas transmutações do sangue e da água; a vitalidade e a mortalidade de heróis, impérios, nações e deuses [...] Desde a Antiguidade, se comparava o fluxo dos rios à circulação do sangue pelo corpo” (p. 253).

O fato de estar próximo aos leitos de rios e de grandes lagos era de grande importância e servia de base para a dinâmica de desenvolvimento das antigas cidades, uma vez que estas dependiam dos cursos d'água por diferentes motivos, tais como: alimentares (através da

<sup>1</sup> Conforme Coimbra (1985) a idéia de desenvolvimento é vista em seu sentido mais amplo, como um processo contínuo e progressivo, gerado na comunidade e por ela assumido. Desta forma, busca-se um crescimento global e harmonizado de todos os setores da sociedade, através do aproveitamento dos seus diferentes valores e potencialidades.

<sup>2</sup> Sob a visão simbólica, o oceano era sem dúvida o maior representante da água, pois trazia consigo as sementes e os segredos da vida, além dos medos que às vezes eram evocados pelas figuras míticas oriundas da lama e dos pântanos.

pesca); meio de transporte (navegação); além da ocupação de planícies marginais de rios, onde eram desenvolvidas as atividades agrícolas que dependiam de irrigação e para o próprio abastecimento humano.

Para exemplificar a importância dos recursos hídricos na Antigüidade pode-se mencionar os grandes impérios na Mesopotâmia, no Egito, na Índia e na China que dependiam diretamente do aproveitamento destes recursos. Através de uma visão mais ampla sobre sua importância da água para o desenvolvimento das cidades e regiões, destacava-se, já naquela época, a preocupação com a periculosidade que a água representava para a saúde e integridade de todas as formas vivas quando esta encontrava-se poluída (Cassier, et al. 1973).

Em relação aos aspectos qualitativos da água, Platão já evidenciava a importância de disciplinar o uso e prescrevia alguma forma de penalização para aqueles que causassem algum dano. Para ele, a água era extremamente necessária para a manutenção das plantações visto que a Terra, o sol e os ventos também apresentavam tal importância, porém não estavam sujeitos ao envenenamento, ao desvio ou roubo, sendo que estes danos poderiam acontecer à água, necessitando de leis que viessem ao encontro da sua proteção.

Baseado nestes argumentos, Platão apud Nicolazo & Kaczmarek (1989), instituiu que:

“Qualquer um que tenha corrompido a água de outrem, seja água de fonte, água de chuva estocada, jogando certas drogas [...] o proprietário deverá se queixar [...] e fará ele próprio, a estimativa do prejuízo: e aquele que será convencido de ter corrompido a água, além de reparar o prejuízo, será obrigado a limpar a fonte ou o reservatório, conforme as regras prescritas pelos intérpretes, seguindo a exigência dos casos e das pessoas” pg. 13

Nicolazo Op. cit. (1989), destacam que na Antigüidade, mais especificamente no período de Aristóteles (384-322 a.C.), já havia uma reflexão sobre o surgimento da água, bem como, a especulação sobre as correlações entre a água proveniente das chuvas e dos lençóis subterrâneos, postulando que os rios originavam-se das águas das chuvas e da umidade do ar no interior das cavernas nas montanhas, que ao se condensarem no solo, deveriam originar os mananciais.

Cabe ressaltar que a falta de conhecimento científico naquele período não era um fator que impedia a compreensão da relação das doenças com a qualidade da água, assim como a compreensão da importância da água no desenvolvimento das cidades.

Para exemplificar a interferência que a falta de água causa na organização e no desenvolvimento das cidades, os rios, que proporcionavam às sociedades a mesma idéia do movimento vital do sangue no corpo, na Antigüidade, podiam significar também destruição e morte, sendo que, durante dois séculos, entre fins do terceiro e inícios do segundo milênio antes da era Cristã, uma das vazantes do Nilo secou, instaurando-se uma época de crise, anarquia e banditismo, indicando que esses períodos de seca coincidiam com a ruptura na sucessão política e na substituição dos faraós (Schama, 1996).

A conservação dos recursos hídricos, como citado anteriormente por Nicolazo Op. cit. já fazia parte do pensamento filosófico da antigüidade, porém, aproximadamente até meados do século passado, a preocupação com a gestão ambiental, assim como a conservação da água não passavam de um luxo elitista e uma excentricidade científica, sem muito espaço para progredir. Isso porque apenas uma parcela pequena das pessoas comuns sentiam significativamente os efeitos que a intensificação das atividades econômicas ocasionavam sobre o ambiente natural, (Souza, 2000).

Liebmann (1979) afirma que, por intermédio da arqueologia, há indícios de que a civilização acadiana se extinguiu devido à seca dos rios Tigre e Eufrates e que várias civilizações teriam entrado em decadência em função de desequilíbrios ambientais, e como exemplo, os Maias teriam abandonado suas cidades em função da carência de água e erosão do solo devido ao desmatamento da mata primitiva.

Pode-se, desta forma verificar que a dependência pela água, assim como suas disponibilidades nos territórios foram e são de extrema importância para o desenvolvimento de diversas cidades desde a Antigüidade.

Em um contexto mais recente, durante o período da Idade Média, a água continuou representando uma grande importância, principalmente no que se refere ao desenvolvimento econômico que tinha como base a força produtiva das manufaturas. A dependência pela água assim como os grandes problemas relativos à sua contaminação durante o período medieval passarão a ser relatadas no próximo item .

## **1.2 A água e o desenvolvimento: da Idade Média à atualidade**

Da Idade Média até os dias atuais, a crise dos recursos hídricos é responsável por causar interferência nos processos de desenvolvimento de várias cidades, sendo considerado este fator, um elemento que pode por em risco a base dos processos de produção que sustentam o atual modelo de desenvolvimento.

Considerando a importância vital e simbólica da água, desde a origem e formação das mais antigas civilizações, até o surgimento dos aglomerados humanos, durante a Idade Média, perpassando o período da Revolução Industrial até nosso atual contexto, a disponibilidade de água potável do território/local, sempre foi um fator importante para a formação e o desenvolvimento das cidades e das regiões.

Assim como na Antigüidade, a água continua sendo um recurso natural de extrema importância para a manutenção da vida e para o funcionamento de toda a base produtiva, seja na agricultura ou na indústria. Porém, atualmente, o cenário da disponibilidade de água para consumo, em termos quali/quantitativos é algo preocupante. A disponibilidade deste recurso nos territórios, associadas aos altos níveis de poluição que muitos corpos d'água se encontram, geram problemas econômicos, sociais e ambientais, uma vez que a demanda por

este recurso é crescente.

A água é um recurso natural de disponibilidade limitada e um insumo básico na maioria das atividades produtivas econômicas, e desta forma é dotada portanto, de valor econômico. Este fato, já constatado na prática em diversas regiões, vem recebendo cada vez mais atenção por parte dos governos, instituições e comunidades, tanto em nível nacional, estadual e regional. Desta maneira, a disponibilidade dos recursos hídricos está intimamente associada ao desenvolvimento sócio-econômico das regiões envolvidas (Souza, 1997).

Conforme o autor, a intensificação pela demanda aliada à disponibilidade restrita dos recursos hídricos, tanto espacial, quanto temporal, na quantidade e qualidade desejadas, tem conduzido a situações de conflitos de uso. Se observados, desde a Antiguidade até os dias atuais, são resultantes da carência da água que muitas vezes é ocasionada pela má distribuição e pela poluição deste recurso; que inicialmente ocorreram no âmbito de um rio ou município por exemplo, ou abrangendo a bacia hidrográfica e, conseqüentemente, acometendo o desenvolvimento sócio-econômico das regiões envolvidas.

Segundo Leray (1982), durante a Idade Média, a água teve tanta representatividade para o desenvolvimento da economia, ao ponto de ser considerada a “Idade da Água”, pois durante praticamente dez séculos ela representou um ponto de reencontro das principais atividades do período, onde, o meio de transporte hídrico tornou-se de suma importância para a continuidade do desenvolvimento econômico.

Entretanto, Souza (2000), comenta que no período da Idade Média, pouco se conhecia sobre as relações entre o progresso econômico e a degradação ambiental, e pouca importância se dava a isso. Não se quer dizer que não haviam preocupações com a questão ambiental neste período, apenas que elas não gozavam de nenhuma prioridade para as pessoas, para os governos e para a ciência.

Guilherme (1990), salienta que a disponibilidade hídrica do território (região) foi um elemento que viabilizou a formação e o desenvolvimento das cidades. E a ocupação dos territórios, pelas cidades medievais. Comenta ainda, que ao fim da dominação romana no Ocidente (século V), havia um certo caráter sagrado relacionado à água, pois com o aumento progressivo do comércio e do intercâmbio, propiciados pela navegação, o período da Idade Média foi marcado pela preocupação em proteger as cidades que se desenvolveram às margens dos rios na Europa.

Posto isso, percebe-se que a água ia se tornando cada vez mais vital ao desenvolvimento da economia. Naquele período eram comuns a implantação dos moinhos que deram início as primeiras formas de indústrias, forneciam força motriz e impulsionavam as atividades de manufatura. A água era considerada o nervo econômico da urbanização pré-industrial e sem ela não seria possível o desenvolvimento das atividades de moagem, tecelagem e tinturaria e curtimento de couros (Guilherme, 1990).

O crescimento das manufaturas em tecidos e couros, consideradas a base da riqueza naquele período, aumentaram a dependência pela água em quantidade e qualidade para diversos usos e parecem ter orientado a distribuição das manufaturas ao longo dos cursos d'água de forma a evitar prejuízos e competições pelos recursos hídricos.

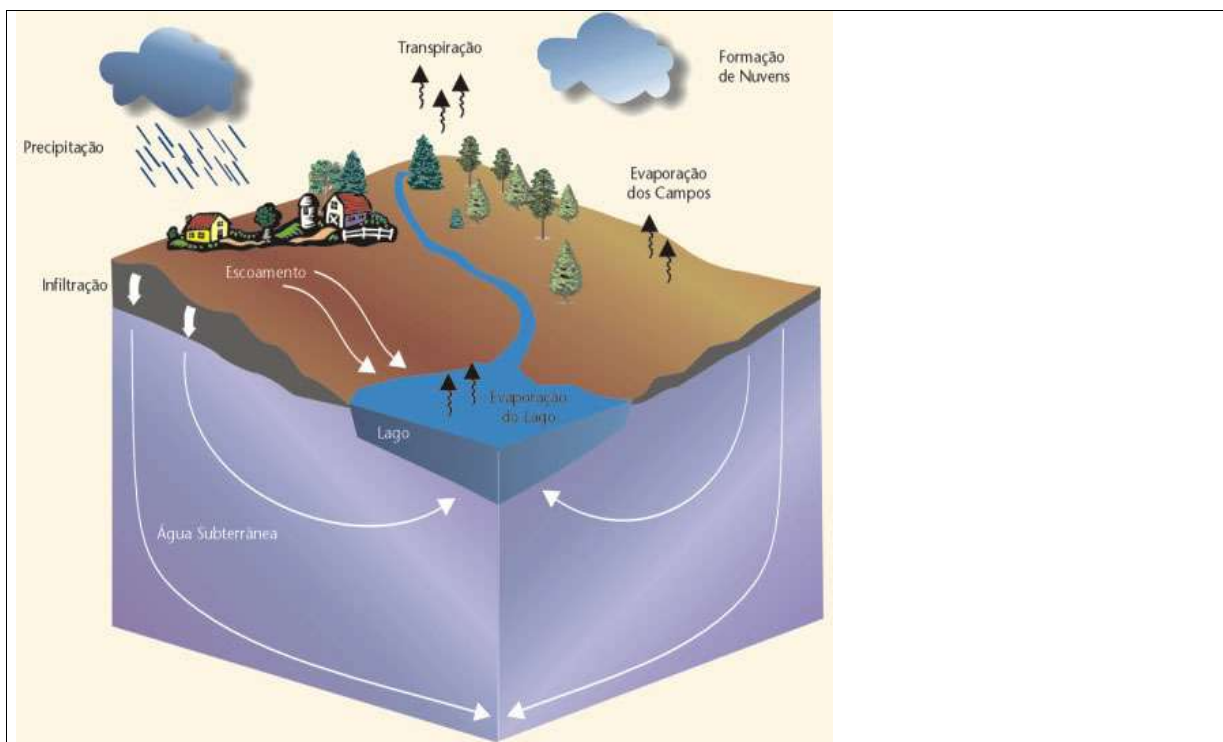


Em relação à Idade Média, a disponibilidade de água foi sem sombra de dúvida a energia decisiva para o surgimento e evolução das primeiras formas industriais. Ao mesmo tempo, a poluição dos recursos hídricos, através do lançamento direto de esgotos domésticos e de efluentes industriais, que acarretaram grandes problemas de saúde na população, e foram responsáveis por um longo período de subdesenvolvimento econômico (Guilherme, 1990).

Em relação à água, estes problemas continuam representando uma grande importância em relação aos mais diversos tipos de processos industriais que impulsionam o desenvolvimento econômico de diversas regiões, porém, globalmente, embora as fontes hídricas ainda sejam suficientes, frequentemente elas estão mal distribuídas na superfície do planeta (Souza, 2000).

Em algumas áreas, as retiradas são tão elevadas em comparação com a oferta, que a disponibilidade superficial de água está sendo reduzida e os recursos subterrâneos rapidamente esgotados. Assim, ficam evidentes, no período atual, como na Idade Média, que a relação entre Homem e Meio Ambiente é complexa e indissociável. A fim de exemplificar esta relação pode-se considerar as disponibilidades hídricas com o crescimento da produção e da população mundial que elevam a demanda pelo recurso.

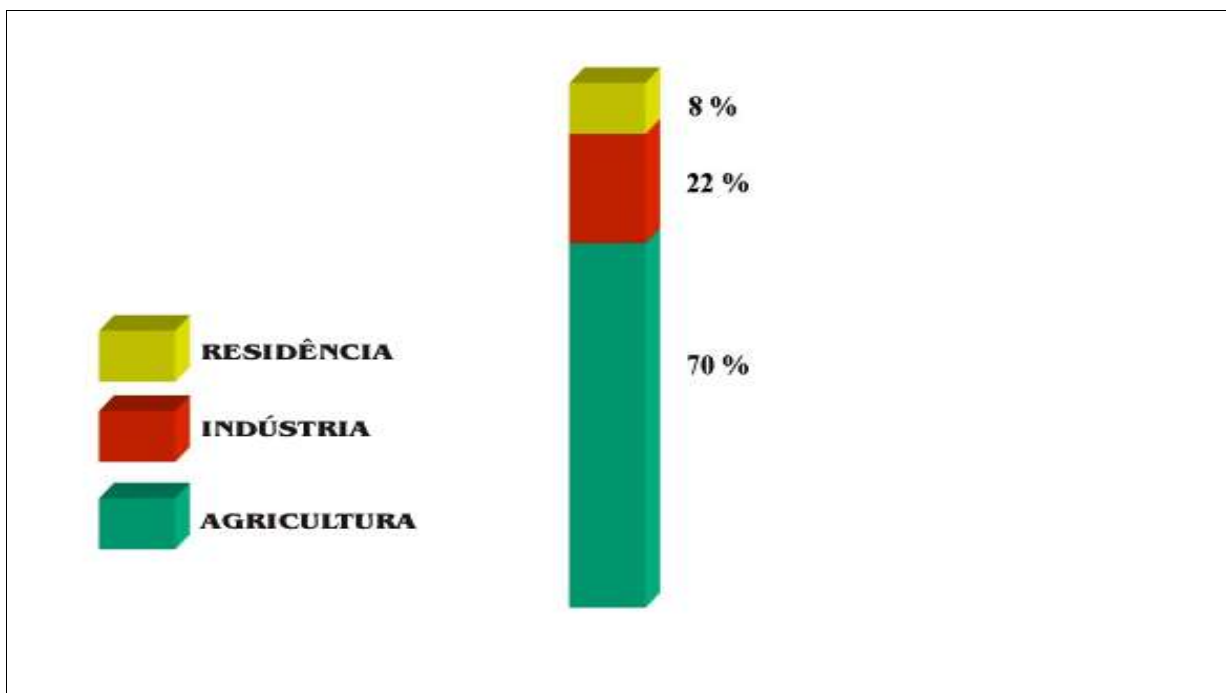
O problema do crescimento da demanda mundial por água de boa qualidade a uma taxa potencial de renovabilidade do ciclo hidrológico, conforme ilustra a (Figura 01), é um consenso nos meios técnicos e científicos internacionais. Este crescimento tende a se tornar uma das maiores pressões entrópicas sobre os recursos naturais do planeta neste século (World Meteorological Organization, 1997).



**FIGURA 01 – Ciclo Hidrológico**

Fonte: Instituto Geológico e Mineiro, 2001.

No Brasil, dentre as formas de uso dos recursos hídricos<sup>4</sup>, a indústria (Figura 02), ocupa o segundo lugar no que se refere ao consumo de água para os seus mais diversos processos. Ao mesmo tempo, é considerada responsável pela forma mais grave de poluição destes recursos, devido ao fato de seus efluentes conterem elevadas cargas dos mais diversos tipos de poluentes que muitas vezes apresentam alta toxicidade e periculosidade para o meio ambiente receptor.



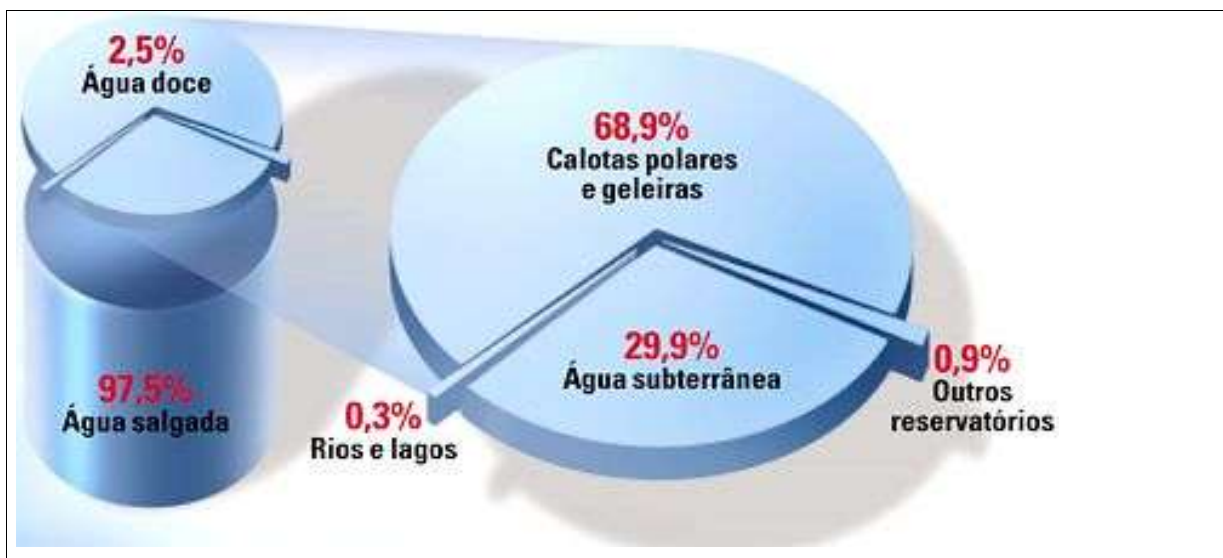
**FIGURA 02 – Consumo de água pelos principais setores no mundo.**

Fonte: Disponível no site <http://www.uniagua.org.br/aguaplaneta.htm>. Acesso em: 17 jun. 2003.

Neste sentido, a necessidade de conservação dos recursos hídricos requer um estreito relacionamento com as características específicas e complexas do meio ambiente, principalmente no que se refere ao seu controle e conservação. Pode-se dizer também, que as necessidades de conservação ocorrem pelo fato da água ser um dos principais componentes do meio ambiente e além de ser essencial e imprescindível à manutenção dos organismos vivos, é responsável atualmente por enormes problemas de desenvolvimento resultantes da sua má distribuição (Souza, 2000).

<sup>4</sup> O maior consumo de água é realizado pela agricultura. Na Região do vale do Rio Pardo, 97% da água consumida é destinada ao plantio de arroz. (ECOPLAN, 1997)

A disponibilidade de água em nível global, (Figura 03), compreende 97,5% de água salgada e apenas 2,5% de água doce. Destes, 0,3% em rios e lagos, local de origem da grande parte das águas de abastecimento de todos os setores produtivos e abastecimento humano.



**FIGURA 03 – Distribuição da água no mundo.**

Fonte: Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba - AAGISA (2003).

Embora os habitats de água doce ocupem uma parcela relativamente pequena da superfície terrestre, quando comparados com os habitats marinhos e terrestres, sua importância para o homem é muitíssimo maior do que a sua área, pelas seguintes razões (Odum, 1988):

- ❖ Os corpos d'água doce constituem a fonte mais conveniente e barata de água para as necessidades domésticas e industriais;
- ❖ A utilização da água do mar, dispensa um grande custo em termos das necessidades de energia gerando a poluição salina;
- ❖ Os componentes de água doce constituem o funil do ciclo hidrológico;
- ❖ Os ecossistemas de água doce, juntamente com os estuários, são os locais mais utilizados para descarte de resíduos através do descaso ambiental.

Ainda, segundo o autor, quase sem exceção, as maiores cidades do mundo estão localizadas às margens de rios, lagos ou estuários que servem como depósitos de rejeitos gratuitos. Já que este recurso natural tem sido tão abusado, deve haver logo um grande esforço no sentido de reduzir esta pressão antrópica pois a água tornar-se-á o fator limitante para os seres vivos.

Em nível global, a água, que é utilizada para abastecimento de todos os setores produtivos e para abastecimento humano, será um dos recursos naturais mais importantes deste milênio. Neste sentido, a América do Sul detém cerca de 47% dos recursos hídricos disponíveis que estão principalmente concentrados no Brasil. Ao mesmo tempo o país enfrenta grandes problemas de desenvolvimento em diversas regiões no que se refere à disponibilidade de água potável para o seu uso mais comum, o abastecimento humano (Souza, 2000).

Conforme Souza Op. cit, a gestão integrada dos recursos hídricos bem como os sistemas de tratamento de efluentes industriais evoluíram significativamente no sentido de minimizarem os danos ambientais, porém, ainda não são suficientes para minimizarem a pressão sobre os recursos hídricos disponíveis, uma vez que, o crescimento da demanda mundial por água potável é maior do que a capacidade de renovação natural do ciclo hidrológico.

Assis (2001), observa que a conservação dos recursos hídricos extrapola os aspectos específicos da qualidade e quantidade da água, refletindo no próprio desenvolvimento econômico-social de uma região. Por isto, para que a conservação de recursos hídricos tenha sucesso é indispensável a implementação de ações que compatibilizem e integrem os diversos âmbitos do desenvolvimento, ou seja, o desenvolvimento integrado.

Como mencionado anteriormente, no decorrer dos longos períodos da humanidade, desde o momento em que tiveram origem os primeiros problemas de distribuição e demanda por água, existia, de forma paralela, a preocupação em manter a qualidade deste recurso pois sabia-se que a falta e/ou a poluição deste recurso interfere diretamente no desenvolvimento das regiões envolvidas.

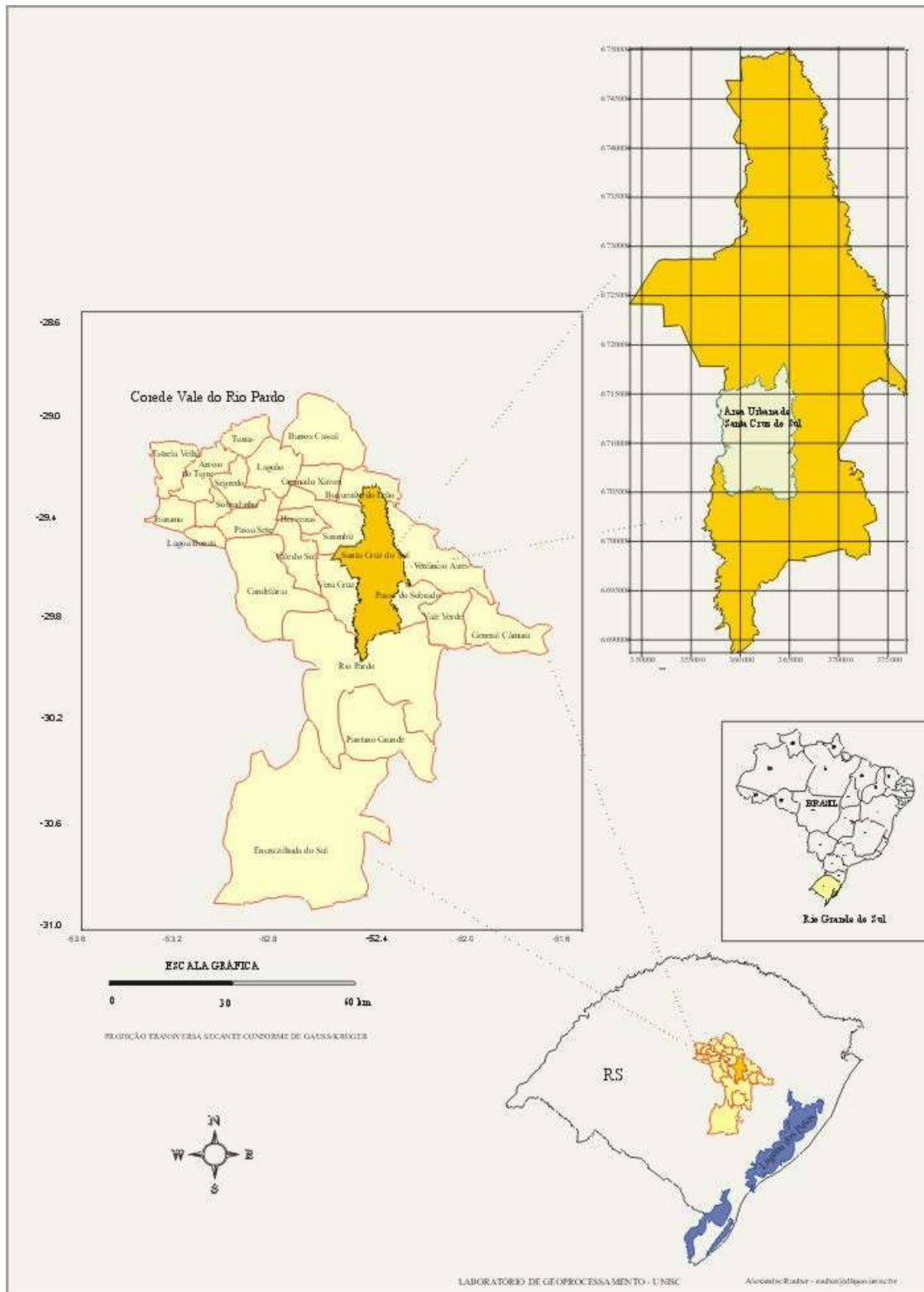
## **2 A BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS PARDO/PARDINHO**

### **2.1 Disponibilidades hídricas da Bacia**

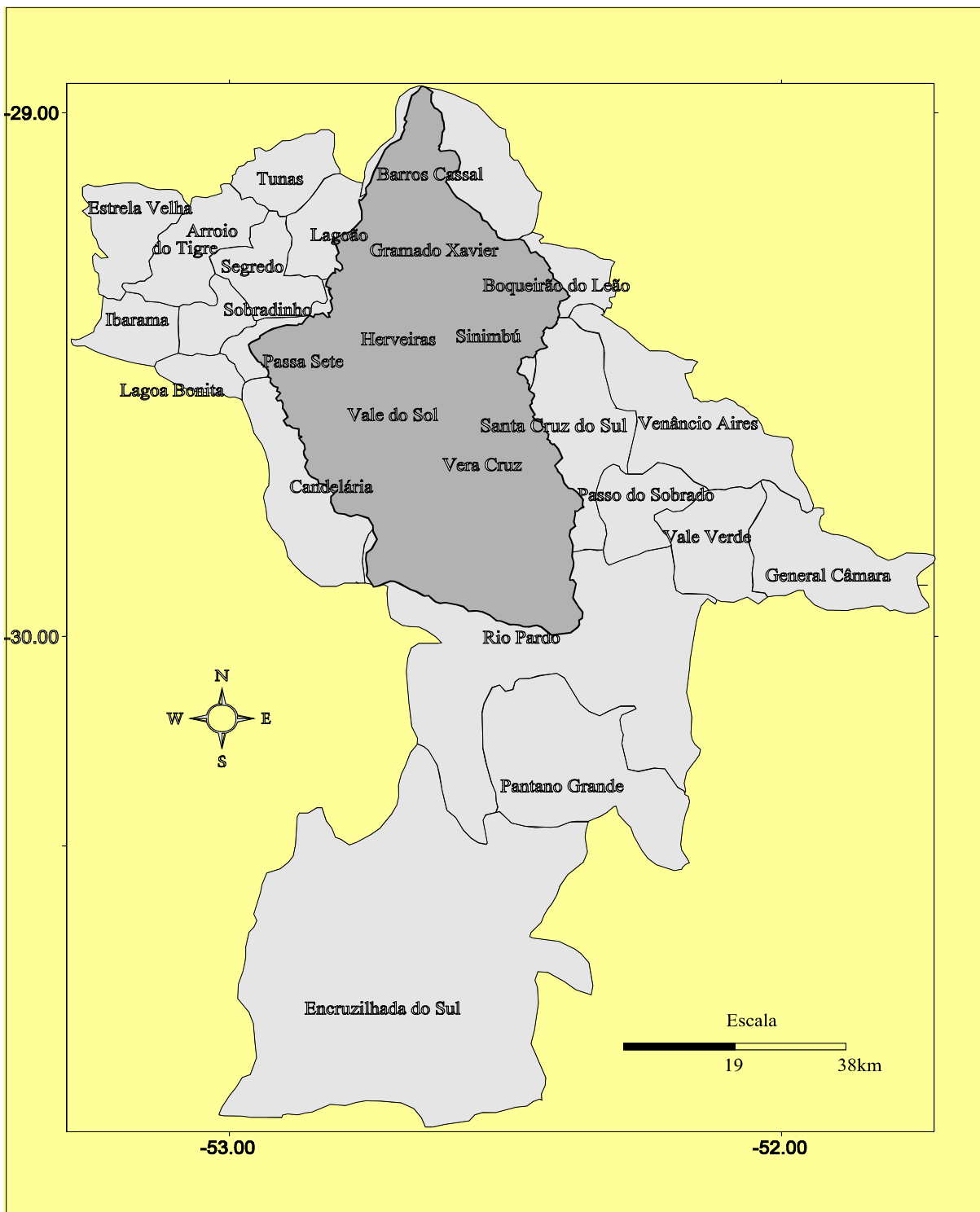
A Região do Vale do Rio Pardo (Figura 04) está localizada na parte central do Estado do Rio Grande do Sul e possui, como a sua principal fonte abastecedora de água, a Bacia Hidrográfica dos Rios Pardo/Pardinho.

A Bacia Hidrográfica dos Rios Pardo/Pardinho (Figura 05), possui um formato alongado na direção norte-sul, com uma extensão de 115 km e com uma largura média de 35 km.

Em relação à borda do Planalto, encontram-se as nascentes do Rio Pardo, mais especificamente no município de Barros Cassal, o curso principal do rio desenvolve-se parcialmente ao longo das escarpas do Planalto atingindo posteriormente as coxilhas e a planície formadora da Depressão Central, onde se encontram as áreas em que se desenvolvem as atividades agrícolas relacionadas ao cultivo do arroz, além do cultivo de outras culturas que dependem de irrigação.



**FIGURA 04 – Localização geográfica da Região do Vale do Rio Pardo no Estado do Rio Grande do Sul.**  
 Fonte: Laboratório de Geoprocessamento da UNISC



**FIGURA 05 – Área de abrangência da Bacia Hidrográfica dos Rios Pardo/Pardinho.**

Fonte: Laboratório de Geoprocessamento da UNISC

A bacia hidrográfica, possui uma área de drenagem de 3.749 km<sup>2</sup> abrangendo os municípios de Rio Pardo, Candelária, Vera Cruz, Santa Cruz do Sul, Vale do Sol, Sinimbu, Lagoão, Gramado Xavier, Boqueirão do Leão, Venâncio Aires, Barros Cassal, Erveiras e Passa Sete, totalizando assim treze municípios. Apenas a sede municipal de Venâncio Aires não se encontra na bacia.



Desta forma, a bacia apresenta, em seu trecho intermediário, um conjunto de municípios que possuem suas principais atividades centradas na agricultura, além de um importante pólo industrial representado pelo Município de Santa Cruz do Sul<sup>5</sup>.

Segundo estudos da ECOPLAN (1997), as disponibilidades hídricas superficiais da referida bacia hidrográfica, dependem do regime pluvio-fluviométrico que resulta em maiores disponibilidades hídricas superficiais nos meses de inverno. Em contraponto, às menores disponibilidades, que ocorrem durante o trimestre dezembro-janeiro-fevereiro, justamente na época de maiores demandas.

As diferenças da disponibilidade hídrica na bacia durante os períodos do ano ocorrem em função das condições topográficas, onde o escoamento hídrico superficial ocorre rapidamente no seu trecho superior e médio, acentuando os efeitos das cheias e repercutindo em vazões mínimas, durante as estiagens, bastante deprimidas (Wenzel, 1997).

As demandas hídricas na bacia são classificadas em dois grandes grupos, que são as demandas consuntivas e as não consuntivas. As consuntivas são aquelas que importam em consumo (derivação) da água, diminuindo, conseqüentemente, a disponibilidade à jusante, constituindo-se no principal grupo na determinação das demandas hídricas. Já as demandas não consuntivas, como a navegação, não retiram água do manancial hídrico, embora demandem certas vazões para que tenham condições plenas de ocorrência.

<sup>5</sup> O Município de Santa Cruz do Sul, também pertencente a Bacia Hidrográfica dos Rios Pardo e Pardinho está localizado na Região do Vale do Rio Pardo, situada na parte Central do Rio Grande do Sul, e, além de ser profundamente marcado por suas características rurais, também é o pólo industrial da região, fazendo parte deste complexo, respectivamente, empresas de beneficiamento e comercialização de tabaco, empresas do setor metal-mecânico, do setor alimentício e empresas têxteis de grande e médio porte.

As demandas consuntivas clássicas da Bacia Hidrográfica do vale dos Rios Pardo/Pardinho (Tabela 01), são respectivamente: para uso na irrigação, para a manutenção dos diferentes tipos de processos do setor industrial, para o abastecimento humano e para a dessedentação de animais. (Cadastro de Usuários de Água – ECOPLAN, 1997).

**TABELA 01 – Demandas Hídricas Superficiais Totais na Bacia dos Rios Pardo e Pardinho (m<sup>3</sup>).**

Uso Consuntivo	Totais Anuais (m <sup>3</sup> )	%
Irrigação	103.418.388	87,46
Industrial	7.033.068	5,95
Abastecimento Humano	4.891.020	4,14
Dessedentação Animal	2.898.300	2,45
Total	118.240.776	100,00

Fonte: Cadastro de usuários de água, ECOPLAN, 1997.

As demandas hídricas na Bacia Hidrográfica dos Rios Pardo/Pardinho, tanto em nível superficial como subterrâneo, foram determinadas através de atividades do projeto intitulado “Avaliação Quali-Quantitativa das Disponibilidades e Demandas de Água, na Bacia

Hidrográfica do Rio Pardo/Pardinho”, desenvolvido pela ECOPLAN no ano de 1997. De acordo com estudos feitos na Bacia, verifica-se, independentemente do tipo de uso dos recursos hídricos, um aumento significativo nas demandas hídricas durante os períodos de verão. Os motivos básicos para este fato residem na intensa utilização da água para a irrigação do arroz, principalmente na parte média e inferior da bacia.

Os sistemas de irrigação constituem-se no principal consumidor de água na bacia, representando em termos quantitativos, por 82,6 % da demanda hídrica da região. ( Cadastro de Usuários de Água/ECOPLAN, 1997).

Ressalta-se, neste sentido, a importância de se manterem conservados os aspectos quali/quantitativos dos recursos hídricos superficiais mínimos, disponíveis na Bacia Hidrográfica dos Rios Pardo/Pardinho, uma vez que, segundo dados da ECOPLAN, 1997, a potencialidade hidrogeológica da bacia é elevada. No entanto, o uso das águas subterrâneas ainda encontra-se limitado, provavelmente por razões econômicas de exploração, visto que estas apresentam melhores condições qualitativas do que as águas superficiais.

Por estes motivos pode-se dizer que a Bacia Hidrográfica dos rios Pardo/Pardinho, merece especial atenção no que diz respeito à qualidade das suas disponibilidades hídricas superficiais, uma vez que, esta é responsável pelo abastecimento de todos os setores produtivos da região. Qualitativamente, poucos são os dados publicados sobre poluição devido aos POP'S e metais pesados etc...

Destaca-se o modo como se desenvolvem as forças produtivas na região de abrangência da bacia, uma vez que estas condicionam a exploração dos recursos hídricos. A maioria dos municípios que compõem a bacia hidrográfica, tem sua base produtiva centrada na agricultura,

que, como visto anteriormente é o setor que mais utiliza água. Este setor já apresenta limites de expansão visto que a área de plantio de arroz na região não é maior pois existem déficits de água para a irrigação.

Ao mesmo tempo tem-se a concentração de indústrias de grande porte localizadas no município de Santa Cruz do Sul, que por ser o pólo industrial regional, detêm a maioria da população da região. Esta característica corrobora com a preocupação da qualidade dos recursos hídricos superficiais da Bacia, uma vez que, a presença de efluentes industriais e domésticos, que serão comentados no item a seguir, podem comprometer a disponibilidade de água.

## **2.2 A caracterização dos efluentes**

No Brasil, dentre as principais fontes de poluição das águas superficiais e subterrâneas se destacam os efluentes domésticos lançados muitas vezes diretamente nos cursos d'água, os efluentes provenientes da agropecuária e os efluentes industriais (Vazoller, 2002).

Dos três tipos de efluentes citados, dois são provenientes de fontes pontuais que são os efluentes industriais e domésticos e um originário de fontes não pontuais representados pelos efluentes da agropecuária. Os dois primeiros possuem um sistema de gerenciamento facilitado, uma vez que o seu tratamento pode ser realizado através de tecnologias já conhecidas. Com relação aos efluentes domésticos, a sua composição físico-química varia pouco de lugar a lugar e a forma de tratamento utilizada é por meio de processos biológicos.

Os efluentes industriais possuem características bem diferenciadas de acordo com as fontes geradoras. Assim, os efluentes de uma galvanoplastia são muito diferenciados quali/quantitativamente dos efluentes provenientes de uma indústria petroquímica. Logo, cada processo industrial necessita de uma forma específica de tratamento.

Neste sentido, a caracterização dos efluentes originários na Bacia Hidrográfica dos Rios Pardo/Pardinho, conforme estudos da ECOPLAN em 1997, estão diretamente relacionados com as características sócio-econômicas da região na qual a Bacia está inserida.

Os efluentes urbanos gerados na Bacia Hidrográfica dos rios Pardo/Pardinho, englobam os

despejos oriundos de residências, estabelecimentos comerciais, áreas de lazer, saúde e de pequenas indústrias. Estes efluentes podem ser conduzidos à seus destinos finais por sistemas de esgotamento sanitário, que podem ser simples, como as fossas sépticas, que apresentam alto risco de contaminação do aquífero subterrâneo, quando há disposição inadequada de seus efluentes no solo, como aqueles mais complexos que exigem a coleta e o transporte dos efluentes até as redes de esgoto de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), para que, após tratamento adequado, finalmente sejam lançados nos corpos hídricos.

Na bacia hidrográfica dos Rios Pardo/Pardinho, de todos os municípios que a compreendem, apenas o município de Santa Cruz do Sul possui Estação de Tratamento de Esgoto. Nos demais municípios os esgotos domésticos tem como destino final o subsolo através de fossas sépticas e/ou sumidouros, e naqueles onde há rede de coleta, os efluentes domésticos após coletados são lançados nos corpos hídricos “*in natura*” (ECOPLAN, 1997). Neste sentido, destaca-se ainda a situação do município de Santa Cruz do Sul, que possui a maioria da população regional e trata apenas 10% de todo esgoto gerado na cidade.

Os efluentes industriais produzidos na referida bacia hidrográfica, englobam os efluentes das grandes e médias indústrias, localizadas em sua maioria no município de Santa Cruz do Sul, que por ser considerado o pólo econômico-industrial da Região do Vale do Rio Pardo, detêm 82% das indústrias da bacia. As demais indústrias (18%) distribuem-se pela bacia nos municípios de Vera Cruz, Rio Pardo e Candelária.

Entre as indústrias localizadas no município de Santa Cruz do Sul, encontram-se as grandes indústrias do tabaco<sup>6</sup>, um comércio variado, possuindo uma ampla gama de serviços e um moderno parque industrial, bem como as indústrias de vestuário, alimentos, bebidas e lapidação, galvanoplastia, metal-mecânica e metalurgia, que contribuem para a geração de grandes quantidades de efluentes líquidos.

As grandes indústrias se abastecem de poços (águas subterrâneas) e utilizam a água para seus mais diversos fins, tais como: a refrigeração e a geração de vapor no processamento do fumo, na galvanoplastia, na produção de alimentos e bebidas, e no tingimento de tecidos.

Segundo a ECOPLAN (1997), na zona urbana do município de Santa Cruz do Sul ocorrem as grandes concentrações de lançamentos de efluentes de origem industrial, e de esgoto doméstico. Isto, deve-se respectivamente ao fato de Santa Cruz<sup>1</sup> do Sul ser o pólo industrial e

---

<sup>16</sup> Estas indústrias formam o maior centro beneficiador de fumo do mundo e tornam o município como ponto de referência regional de negócios

<sup>7</sup> Na região do Vale do Rio Pardo, mais especificamente no município de Santa Cruz do Sul, a indústria têxtil ainda é um setor em desenvolvimento porém ocupa o terceiro lugar dentro das arrecadações municipais, ficando atrás somente das atividades industriais ligadas ao tabaco e do setor metal-mecânico.

econômico da região e sua sede possui o maior aglomerado urbano da bacia, concentrando 37% da população total e 55% da população urbana da mesma (Tabela 02).

**TABELA 02 – Número de habitantes distribuídos na zona urbana de abrangência da bacia hidrográfica dos rios Pardo/Pardinho.**

População	N ° de Habitantes
Urbana Regional	241.321
Urbana de Santa Cruz do Sul	132.726
População total regional	414.990

Fonte: Censo demográfico - IBGE, 2000

Os efluentes urbanos produzidos na bacia hidrográfica, em sua grande maioria, não recebem tratamento pois são dispostos a céu aberto. Neste caso, os efluentes industriais das grandes indústrias, localizadas no complexo industrial do município de Santa Cruz do Sul, geralmente apresentam grau de tratamento adequado vistoriado pela FEPAM (ECOPLAN, 1997).

Os efluentes rurais mais significativos na bacia são originários da agricultura irrigada<sup>8</sup>, cujo volume de despejos excedentes, não são evapotranspiradas pelas culturas. Além disso, há a ocorrência de efluentes das residências localizadas nestas áreas, e em nível intermediário, os efluentes resultantes da exploração dos recursos minerais, e os efluentes provenientes das criações de suínos e bovinos ( ECOPLAN, 1997).

A ocupação e uso do solo na região define os efluentes das lavouras como os mais significativos para a avaliação quali-quantitativa dos mananciais na Bacia. Os efluentes resultantes da agricultura irrigada retornam aos mananciais por meio de escoamento superficial, subsuperficial ou vão para os depósitos subterrâneos, por percolação profunda, arrastando consigo sais solúveis (nitrogênio, fósforo e nitratos), resíduos de defensivos agrícolas e herbicidas (organoclorados e organofosforados) e sedimentos. Esta situação remete mais uma vez à preocupação em manter a qualidade das águas de superfície, principal mantenedora das demandas da Região.

A lavoura de arroz é considerada como o principal uso consuntivo e o principal fator gerador de problemas quali-quantitativos dos recursos hídricos da Bacia. Esta atividade demanda cerca de 99,4% cujos efluentes de retorno representam, em média, 15% do volume de captação (ECOPLAN, 1997).

A situação qualitativa dos recursos hídricos, principalmente a das águas superficiais dos Rios Pardo e Pardinho, localizados a jusante das cidades de Santa Cruz do Sul, Candelária e Rio Pardo, assim como as das áreas de criação de suínos e aves, e agricultura intensiva, merecem uma maior atenção, pois a qualidade destas encontra-se alterada em função dos efluentes das atividades ligadas a estas áreas. (ECOPLAN, 1997)

<sup>8</sup> A região caracteriza-se pela presença da irrigação por superfície, predominando a irrigação por inundação (lavouras de arroz), embora também apresente lavouras irrigadas por sulco e aspersão (milho, fumo e hortifruticultura).

Neste sentido, a gestão dos recursos hídricos e a preservação ambiental estão diretamente associados à manutenção de padrões adequados de qualidade das águas que permitirão seus múltiplos usos.

### **2.3 Os poluentes de origem industrial**

Mota (2000), ressalta que os efeitos nocivos da poluição hídrica incidem diretamente sobre o homem, causando perturbações na saúde e alterações no comportamento das populações, na economia (indústria, turismo) e no ambiente, pela degradação da paisagem e pela perturbação ou alteração dos ecossistemas.

No que se refere aos poluentes de origem industrial, Vazoller (2002), destaca problemas provenientes da intensa e crescente expansão e especialização da indústria e o desenvolvimento do comércio e dos grandes núcleos residenciais resultam na poluição das águas superficiais e subterrâneas. Conforme o autor, as principais atividades econômicas que contribuem para a contaminação das águas, através do lançamento de resíduos químicos e orgânicos presentes nos efluentes industriais, são as indústrias de papel e celulose, química e petroquímica, metalúrgica, alimentação e têxtil.

Além dos efeitos tóxicos e/ou cancerígenos de alguns destes poluentes, existe o perigo de bioacumulação nos organismos vivos, que causam sérias consequências em toda a cadeia alimentar. São exemplos disso alguns metais pesados, entre eles o mercúrio. Cabe ressaltar ainda que os efluentes industriais, quando remetidos às fossas sépticas de baixa qualidade constituem o meio mais importante de poluição das águas subterrâneas (Vazoller, 2002).

Fellenberg (1980), observa que os problemas ambientais existentes entre o processo de industrialização, vem comprometendo o meio ambiente mediante lançamento de substâncias tóxicas oriundas principalmente dos processos industriais.

Segundo Yassuda (1993) o uso indiscriminado dos recursos hídricos no Brasil, principalmente pelo setor industrial, se comprova através da atual situação de degradação de diversos corpos d'água, através da falta de planejamento e execução de medidas preventivas. Esta situação parece estar relacionada com a fase de transição que a sociedade brasileira está passando, além de um atraso correspondente à modernização administrativa. O mesmo autor destaca ainda o apelo à modernização como condição para os planos de desenvolvimento regional propostos pelo Governo.

Os poluentes de origem industrial, ao diminuírem a transparência das águas e impedirem a penetração da radiação solar, diminuem também a atividade fotossintética e provocam distúrbios na solubilidade dos gases, causando danos nas guelras e brânquias dos organismos aquáticos, além de perturbar seus locais de desova e refúgio. Esses compostos podem permanecer por cerca de 50 anos em ambientes aquáticos, pondo em risco a estabilidade desses ecossistemas e a vida em seu entorno (Vazoller, 2002).

De acordo com Mota (2000), para solucionar os problemas de poluição hídrica pode-se considerar algumas medidas de caráter remediador, como o tratamento das águas residuais urbanas e o tratamento das águas residuais industriais, como medidas preventivas que visam a conservação dos recursos hídricos. Neste sentido torna-se viável a utilização de tecnologias capazes de minimizarem a quantidade de resíduos poluentes e tóxicos muitas vezes presentes em altas concentrações nos efluentes domésticos e industriais.

#### **2.4 A indústria têxtil e seus efluentes**

O problema da poluição ambiental pela contaminação dos cursos hídricos, mediante o lançamento dos efluentes industriais, desde o período da Revolução Industrial, tem caráter mundial. Esta situação vem intensificando-se com o crescimento das disparidades em diversas regiões.

No entanto, apesar do setor têxtil, no Brasil, colaborar para a geração de aproximadamente 1,4 milhão de trabalhadores e um volume de negócios no valor de US\$ 20 bilhões, este é responsável por causar diversos impactos ambientais devido à presença de corantes de difícil remoção à presentes em seus efluentes (Oliveira, 1995).

Neste enfoque, apesar de reconhecer a representatividade do setor para o desenvolvimento econômico nacional e regional, verifica-se a necessidade de tecnologias capazes de minimizarem os danos que o setor pode causar para o meio ambiente. Estima-se que, de uma forma geral, 20% dos corantes têxteis utilizados no tingimento dos tecidos sejam descartados em efluentes devido às perdas ocorridas durante o processo (Vazoller, 2002).

A poluição de corpos d'água com estes corantes podem provocar, além da poluição visual, alterações nos ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese, sendo que estudos tem mostrado que algumas classes de corantes, principalmente azocorantes, e seus subprodutos, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos (Brown, 1993 & Vazoller, 1996).

Segundo Zanoni & Carneiro (2002), os problemas ligados aos efeitos poluentes dos corantes têxteis, estão em alguns casos relacionados a etapa de tintura da fibra, onde, alguns corantes, a partir da sua degradação, chegam a liberar substâncias tóxicas além de altas concentrações de metais pesados que podem ser acumulados por plantas expostas a efluentes da indústria têxtil e conseqüentemente passar para a cadeia alimentar, contaminando outros organismos.

Conforme Eaton et al (1980), além da liberação de substâncias tóxicas durante a etapa de tingimento, os corantes têxteis apresentam uma estrutura molecular complexa que impede a sua remoção quando presente nos efluentes, através das técnicas convencionais de tratamento.

Segundo a Associação Brasileira de Química – Abiquim (1997) as indústrias químicas geram milhares de toneladas de compostos, e deste montante, mais de 700 mil toneladas são referentes à produção de aproximadamente 8 mil tipos de corantes e pigmentos que são utilizados anualmente no mundo. Em nível nacional, o Brasil é responsável por 2,6% da demanda mundial de corantes, dada a importante participação do algodão e do couro na economia do país, demandando assim uma grande quantidade de corantes. (Guaratini et al. 2000).

#### **2.4.1 Os corantes têxteis**



Conforme Vazoller (2002), a origem dos primeiros corantes utilizados para o tingimento de tecidos é incerta. Porém existem indicações de seu uso pelo homem desde os primórdios das antigas civilizações, sendo que a presença foi detectada em amostras de tecidos de tumbas egípcias e antigos hieróglifos datados de 2.500 a.C.

Até a metade do século XIX, só existiam pigmentos naturais, provenientes de vegetais, insetos, moluscos e minerais, cujas fórmulas de extração e aplicação eram guardadas secretamente. A grande revolução na história desses compostos ocorreu quando o químico inglês William H. Perkin (1860-1929) descobriu, em 1856, o primeiro corante sintético (malva), derivado do coque. Este foi o primeiro passo para a produção de corantes orgânicos sintéticos em grande escala (Zanoni & Carneiro, 2002).

O Colour Index, catálogo da Society of Dyers and Colourists, registra atualmente mais de 8 mil corantes orgânicos sintéticos que são utilizados somente pela indústria têxtil. Tal diversidade se justifica pelo sucesso comercial dos produtos têxteis que passam por um processo de tintura.

Para atender a um mercado cada vez mais exigente, a indústria química tem investido no desenvolvimento de corantes econômicos, com propriedades específicas, para obter boa fixação da coloração nos tecidos, oferecendo alta resistência aos agentes desencadeadores do desbotamento (Kunz *et al.* 2002).

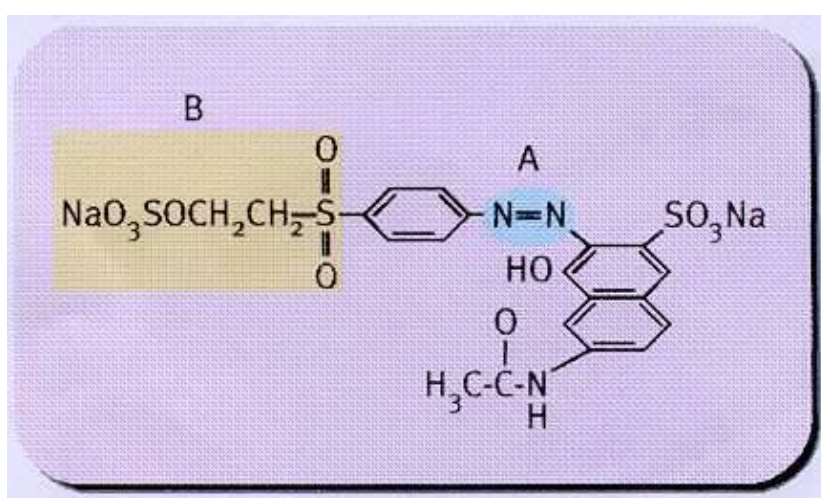
Estas propriedades específicas caracterizam os corantes têxteis como elementos químicos que apresentam estruturas moleculares complexas.

Geralmente os corantes têxteis apresentam em sua estrutura molecular, um grupo cromóforo que dá cor ao composto de uma parte de energia radiante. O grupo cromóforo também é conhecido como grupo AZO, antraquinona e nitro; os grupos auxiliares como os auxocromos promovem a afinidade pela fibra têxtil, natural ou sintética.

Normalmente, a fixação do corante à fibra têxtil é feita através de reações químicas ou pela fixação de moléculas de uma substância na superfície de outro corante ou de derivados gerados por reações químicas durante o processo de tintura. Por isso, os corantes costumam ser classificados de acordo com sua maneira se fixarem à fibra. Eles podem ser reativos, diretos, azóicos, aniônicos (ácidos e básicos), a cuba, de enxofre, dispersivos, pré-metalizados e branqueadores (Zanoni & Carneiro, 2002).

Os corantes sintéticos são extensivamente utilizados na indústria têxtil, gráfica, fotográfica e como aditivos em derivados de petróleo. Aproximadamente 10.000 diferentes corantes e pigmentos são usados industrialmente, o que representa um consumo anual de cerca de  $7 \times 10^5$  toneladas no mundo e 26.500 toneladas somente no Brasil (Guaratini *et al.* 2000).

Conforme, Kunz et al. (2002), existem vários grupos cromóforos que são utilizados atualmente na síntese de corantes. No entanto, o grupo mais representativo e largamente empregado é o pertence à família dos azocorantes, que se caracterizam por apresentarem um ou mais grupamentos (N=N) que estão ligados à sistemas aromáticos. Os azocorantes representam cerca de 60 % dos corantes atualmente utilizados no mundo, sendo extensivamente utilizados pelas indústrias têxteis (Figura 06).



**FIGURA 06 – Estrutura molecular de um corante têxtil azóico.**  
Fonte: Zanoni et al. 2001

A outra parte da molécula do corante, ligada ao grupo cromóforo, é responsável pela fixação do corante à fibra. Existem atualmente várias classes de corantes classificados segundo sua fixação, como por exemplo ácido, direto, básico, de enxofre e reativos, sendo este último o mais utilizado em nível mundial (Encyclopedia of Chemical Technology, 1990).

Como mencionado anteriormente, os corantes têxteis do grupo AZO são de difícil remoção pois apresentam estruturas moleculares complexas que podem envolver, durante seu processo de síntese, até 500 reações intermediárias sendo estas características responsáveis pelo difícil processo de remoção dos corantes quando presentes em efluentes líquidos, tornando os sistemas de tratamento convencionais, usualmente empregados, em parte ineficientes (Vazoller, 2002).

Conforme Kunz et al. (2000), as técnicas de tratamento de efluentes, têxteis, fundamentadas em processos de coagulação, seguidos de separação por flotação ou sedimentação, apresentam uma elevada eficiência na remoção de materiais particulados. No entanto, a remoção dos corantes têxteis, e outros compostos orgânicos dissolvidos presentes em efluentes, mostram-se deficientes. A maioria dos tratamentos acima citados geram um passivo ambiental na forma de lodo, que é normalmente classificado como resíduo de classe I, segundo a NBR 10.004 e deve ser descartado num aterro de resíduos industriais perigosos.

Os corantes não pertencem a uma mesma classe de compostos químicos, mas englobam diversas substâncias com grupos funcionais diferenciados, com grande variedade na reatividade, solubilidade, volatilidade, estabilidade que, por sua vez, requerem métodos específicos para identificação, quantificação e degradação.

No que se refere à remoção dos corantes têxteis presentes nos efluentes industriais, novas tecnologias têm sido buscadas no sentido de minimizar os danos ambientais que estes podem ocasionar, e entre estas tecnologias destaca-se a biodegradação.

### **3 UTILIZAÇÃO DE FUNGOS PARA BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS SINTÉTICOS**

Kunz et al. (2002), comentaram sobre os limites das técnicas de tratamento de efluentes baseadas nos processos físico-químicos como a floculação combinadas com técnicas com flotação, eletroflotação, coagulação eletrocinética, eletrooxidação e ozonização, quando comparadas com os processos biológicos de degradação.

Por isso, no que se refere às técnicas de tratamento de efluentes industriais, existe uma certa predileção, conforme Kunz, et al. (2002), pela utilização de processos que realmente possam degradar os poluentes de interesse.

Dentro do contexto dos processos de degradação, cabe aos processos biológicos um lugar de destaque, principalmente em função da relativa facilidade encontrada na implementação de sistemas que operem em grande escala e pela eficiência destes processos.

Os processos biológicos utilizados com maior frequência para o tratamento dos efluentes industriais estão representados pelos sistemas de lodos ativados, que consiste na agitação dos efluentes na presença de microrganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolização e floculação de uma grande parte da matéria orgânica. Infelizmente, o processo apresenta o grande inconveniente de ser bastante susceptível à composição do efluente (cargas de choque), além de produzir um grande volume de lodo. (Kunz et al. 2002)

Em geral, na indústria têxtil os processos de tratamento estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de precipitação, coagulação-floculação, seguidos de tratamento

biológico via sistema de lodos ativados. O sistema apresenta uma eficiência relativa por ser capaz de remover apenas parte da carga de corantes (Fu, 2001).

As soluções para o tratamento dos efluentes industriais, podem ser encontradas através da utilização dos processos biológicos associados, em alguns casos, aos processos comumente aplicados (químicos e físico-químicos). A título de exemplo, temos o caso da aplicação *in situ* de microrganismos especializados, que conforme Zehnder (1992) são técnicas que , degradam e/ou transformam as substâncias químicas sintéticas e tóxicas despejadas nos corpos d'águas.

Conforme Crueger & Crueger (1993), os sistemas de tratamento de efluentes baseados nos princípios da biodegradação devem atender a aspectos importantes, como remoção da matéria orgânica, redução da demanda bioquímica de oxigênio - DBO, do resíduo a ser tratado bem como a degradação de compostos químicos orgânicos de difícil remoção, resultando o fornecimento de um efluente em condições que não afete o equilíbrio dos sistemas receptores finais como rios e lagos.

Assadi (2001) destaca que em alguns processos de biodegradação de poluentes presentes nos efluentes, são incorporados uma variedade de espécies microbianas e, portanto, uma versatilidade metabólica bastante grande destas que são capazes de degradar compostos complexos e artificialmente sintetizados. Alguns deste processos, possuem microrganismos que apenas degradam moléculas orgânicas simples, como o ácido acético, produzindo gás metano. Os microrganismos utilizados na biodegradação são fungos e bactérias.

Os fungos, por exemplo, possuem uma grande capacidade de degradar parcialmente, e em alguns casos completamente, uma variedade de poluentes resistentes a degradação, através da ação de enzimas específicas produzidas por estes microrganismos. Estas enzimas apresentam grande capacidade em despolimerizar a lignina e uma grande variedade de outros compostos, especialmente dos corantes presentes nos efluentes têxteis. Como exemplo, pode-se citar os estudos realizados por Kirby et al. (1995), quando estudando a capacidade de descoloração dos fungos frente a uma amostra de efluente simulada em laboratório, observou a degradação total deste corante após o período de 3 a 5 dias de tratamento.

Couto et al. (2000), também observaram uma excelente eficiência no tratamento de uma amostra contendo uma solução de corante (poli-R-478), alcançando remoções superior a 95 % após o tratamento com fungos, no caso o *Phanerochaete chrysosporium*.

A utilização de outros fungos como por exemplo *Pleurotus ostreatus* e *Trametes versicolor* para degradação de corantes também vem sendo estudada.

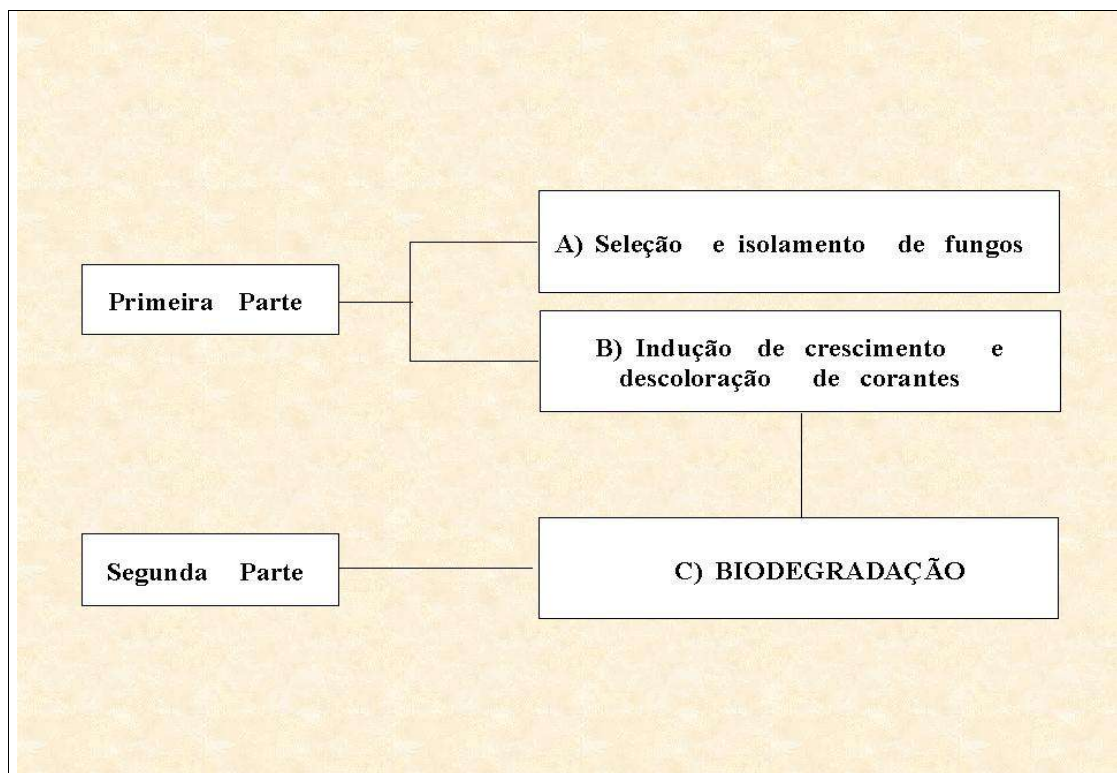
Segundo Rodríguez (2000), estes fungos caracterizam-se por serem bons produtores de lacase. Esta enzima tem a capacidade de catalisar reações de desmetilação, que é um importante passo na degradação destes xenobióticos.

### **3.1 Biodegradação de corantes têxteis através do uso de fungos**

Field et al. (1993) destaca que entre os microrganismos (fungos e bactérias) que podem ser utilizados para o desenvolvimento destas técnicas de biodegradação, os fungos apresentam importante capacidade em degradar as moléculas mais complexas através da produção de enzimas específicas. Como mencionado anteriormente, os corantes pertencentes ao grupo AZO, possuem moléculas que muitas vezes são difíceis de serem totalmente degradadas. Por estes motivos utilizou-se neste trabalho apenas colônias de fungos.

Considerando a dificuldade de remoção dos corantes têxteis presentes nos efluentes preparados em laboratório, utilizou-se neste trabalho, fungos encontrados em amostras provenientes na Região de Santa Cruz do Sul. Para tanto, adotou-se uma metodologia específica para o desenvolvimento dos experimentos laboratoriais.

A metodologia adotada para a realização destes experimentos apresenta-se dividida em duas partes e suas distintas etapas que podem ser visualizadas através do Fluxograma a seguir (Figura 07).



**FIGURA 07 – Fluxograma das etapas da metodologia utilizada para o desenvolvimento dos experimentos.**

Na primeira parte fez-se a seleção e o isolamento dos fungos presentes nas amostras de solo, efluentes e chorume, além da indução de crescimento e a descoloração dos corantes presentes em efluentes sintéticos preparados em laboratório. A segunda parte corresponde aos testes de biodegradação destes corantes.

### 3.2 Seleção e isolamento de fungos

Durante o período de março a abril de 2003, foram coletadas 10 amostras de efluente têxtil, 15 amostras de solos de lavoura, 05 amostras de solo de mata, 07 amostras de lodo de fundo de lago e 03 amostras de chorume, totalizando assim 40 amostras, originárias da Região (Tabela 03).

**TABELA 03 – Relação dos diferentes tipos de amostras coletadas para o isolamento de fungos**

Nº	Data	Tipo de Amostra	Origem	Localidade
1-10	17/03/03	Efluente	Indústria	Santa Cruz do Sul
11-25	24/03/03	Solo	Lavoura fumo	Santa Cruz do Sul
26	24/03/03	Solo	Solo de mata	Santa Cruz do Sul
27	24/03/03	Solo	Solo de mata	Santa Cruz do Sul
28	24/03/03	Solo	Solo de mata	Santa Cruz do Sul
29	24/03/03	Solo	Solo de mata	Santa Cruz do Sul

30	24/03/03	Solo	Solo de mata	Santa Cruz do Sul
31	24/03/03	Solo	Lodo	Santa Cruz do Sul
32	24/03/03	Solo	Lodo	Santa Cruz do Sul
33	24/03/03	Solo	Lodo	Santa Cruz do Sul
34	24/03/03	Solo	Lodo	Santa Cruz do Sul
35	24/03/03	Solo	Lodo	Santa Cruz do Sul
36	24/03/03	Solo	Lodo	Santa Cruz do Sul
37	24/03/03	Solo	Lodo	Santa Cruz do Sul
38	24/04/03	Chorume	Lixão	Venâncio Aires
39	24/04/03	Chorume	Lixão	Venâncio Aires
40	24/04/03	Chorume	Lixão	Venâncio Aires

Com o objetivo de isolar as espécies fúngicas presentes nestas amostras, utilizou-se a técnica descrita por Neder (1992), onde, para cada uma delas foi feita uma suspensão na seguinte proporção descrita abaixo:

Das amostras de solo foi retirada a quantia de 1,0 g e das amostras de chorume e de efluente retirou-se 0,1 mL. Estas quantidades foram colocadas em tubos de ensaio contendo 9,9 mL de água deionizada estéril. Posteriormente as soluções foram homogeneizadas e inoculadas, em triplicata, em placas de Petri, contendo ágar Saboreaud. Seguidamente estas amostras foram incubadas em estufa bacteriológica por um período de 7 dias a temperatura de 30° C. Após o período de incubação, foram isoladas as colônias de fungos que tiveram maior representatividade (quantidade) e melhor crescimento nas placas.

Após o isolamento das colônias de fungos encontradas nas amostras de efluentes, de solos e chorume partiu-se para a segunda fase dos experimentos que foi a indução de crescimento em presença de corantes têxteis e descoloração dos mesmos.

### **3.2.1 Indução de crescimento e descoloração dos corantes têxteis**

#### **3.2.1.1 Indução**

Com a intenção de viabilizar o uso das colônias de fungo isoladas, fez-se separadamente a indução de crescimento destas colônias em presença de oito tipos de corantes em meio de cultivo apropriado. Para isto, foram preparados meios de cultivo contendo em sua composição corantes de uso comercial fornecidos por uma empresa têxtil localizada no município de Santa Cruz do Sul.

Na Tabela 04 encontram-se detalhados os corantes têxteis, com as suas denominações numéricas e nome comercial, que foram usados para a identificação dos mesmos no decorrer



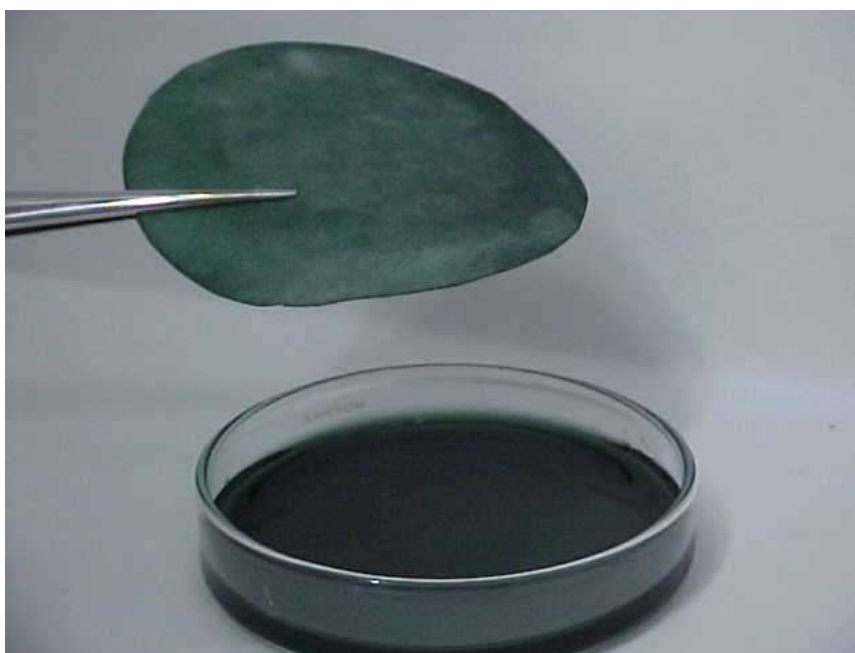
do trabalho.

**TABELA 04 – Denominação numérica e nome comercial dos corantes têxteis**

Corantes	Nome comercial
1	Diresul Castanho
2	Preto Sulfuroso – TVLS
3	Diresul Verde
4	Diresul Oliva RDT-T
5	Sodyesul Castanho FSB
6	Marinho Sulfuroso 4RT-VLS
7	Azul Sulfuroso ZGB-VLS
8	Diresul Preto

Uma descrição completa dos corantes como composição química, peso molecular, entre outras, não foi apresentada no trabalho pois elas não foram fornecidas pelos fabricantes sob pretexto de sigilo industrial.

Para cada colônia de fungo selecionada, e para cada um dos oito corantes têxteis, foram preparadas (em triplicata), placas de Petri contendo ágar Saboreaud tendo em sua composição corante diluído em Dimetilsulfóxido, na concentração de 10% (vol/vol). Preparou-se também, para cada corante, discos de papel filtro (porosidade N°1), impregnados individualmente com uma solução de corante têxtil sintético com concentração de 20% (vol/vol), que foi colocado sobre o ágar contido na placa, conforme mostra a Figura 08.



**FIGURA 08 – Disco de papel filtro impregnado com corante sendo colocado sobre placa de Petri com ágar Saboreaud**

Posteriormente, cada uma das colônias de fungo foi inoculada em tubo de ensaio contendo 3 mL de Caldo Saboreaud. Após homogeneização desta solução, a mesma foi inoculada (0,2 mL) em três pontos na superfície do papel filtro colocado sobre a superfície do ágar contido nas placas e foram incubadas em estufa bacteriológica, a temperatura de 30°C, durante o período de 7 dias.

O crescimento dos fungos sobre a superfície do papel filtro e sobre o ágar foi acompanhado durante o período de 72 horas de incubação. Porém, nas primeiras 24-48 horas de incubação, o crescimento dos fungos em cada placa e em cada um dos três pontos na superfície do papel filtro foi verificado visualmente.

A variação da taxa de crescimento dos fungos, nos três pontos de inóculo na superfície do papel filtro e do ágar, serviu de parâmetro para a seleção das colônias que apresentaram maior desempenho e que foram utilizadas para os testes de descoloração de corantes.

### **3.2.1.2 Descoloração**

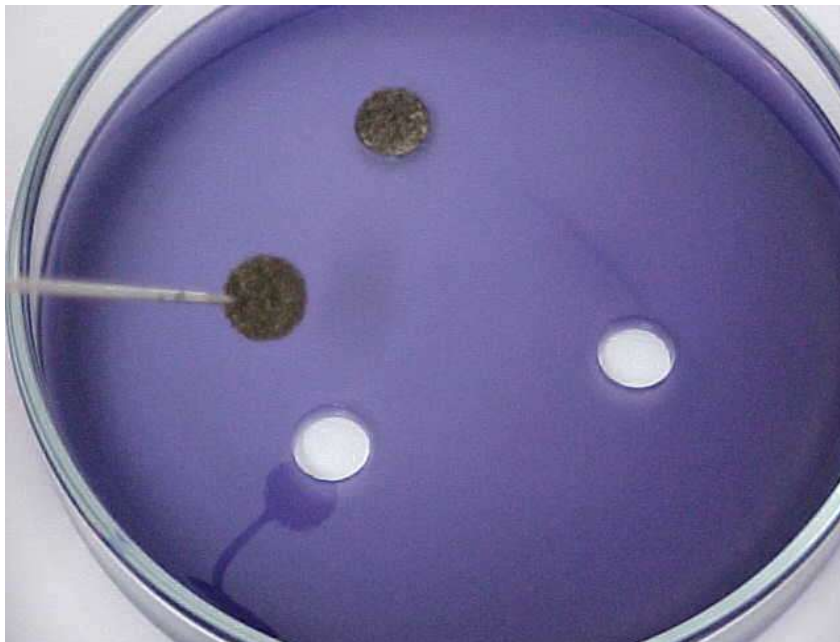
Para a realização da descoloração dos corantes têxteis presentes nos meios de cultivo foram utilizadas somente as colônias que apresentaram as maiores taxas de crescimento na fase de indução (teste visual). Portanto, para cada colônia foram preparadas duas baterias de placas de petri com ágar Saboreaud, contendo em sua composição as concentrações de 6,4% - 3,2% - 1,6% - 0,8% - 0,4% - 0,2% - 0,1% - 0,05% - 0,025% e 0,0125%, (vol/vol), dos 8 tipos de corantes utilizados.

Para isso, preparou-se uma suspensão para cada uma das colônias, em água deionizada estéril, que foi semeada na superfície das placas da primeira bateria que foram incubadas durante 24 horas a temperatura de 30°C. Após este período, verificou-se o crescimento das hifas dos fungos sobre toda a superfície da placa de Petri, da qual, com auxílio de um punchesie, foram recortados pequenos discos contendo hifas de fungo, como demonstra a Figura 09.



**FIGURA 09 – Discos recortados da superfície da placa contendo hifas de fungo**

Estes discos foram inseridos na superfície das placas da segunda bateria, como pode ser visto na Figura 10. Observou-se também para que cada disco fosse inserido na placa que continha a mesma porcentagem e o mesmo tipo de corante da placa de origem.



**FIGURA 10 – Recortes na superfície do ágar onde foram inseridos os discos contendo hifas de fungo.**

Seguidamente as placas da segunda bateria foram incubadas durante o período de 24 horas na temperatura de 30°C. Após o período de incubação verificou-se a formação dos halos de descoloração que os fungos formaram sobre a superfície do ágar. Com o auxílio de um paquímetro foi feita a medida dos halos que cada colônia formou nas placas que continham ágar com diferentes concentrações de corantes.

Após a análise estatística (Teste de Tukey), os resultados foram realizados os experimentos da segunda parte deste trabalho que é a biodegradação de corantes presentes em efluentes preparados em laboratório.

### **3.3 Biodegradação de corantes têxteis**

Na etapa de biodegradação foi verificada a eficiência das colônias de fungos utilizadas na remoção dos corantes têxteis. Por motivos econômicos, optou-se nesta etapa pela utilização de uma colônia de fungo e de dois tipos de corante.

Primeiramente foi feita a identificação da colônia de fungo a ser utilizada na biodegradação. A preparação da colônia foi feita segundo a metodologia descrita por Neder (1992) e a identificação taxonômica foi baseada na Chave de identificação de Gêneros descrita por Putzke & Putzke (2000).

Após a identificação taxonômica, preparou-se em laboratório os efluentes têxteis que continham em sua composição os corantes, (4) Diresul Oliva RDT-T e (6) Marinho Sulfuroso 4RT-VLS na concentração de 0,1 % (vol/vol). Seguidamente foi verificado o valor do pico de absorção dos corantes 4 e 6, através da curva de varredura feita em Espectrofotômetro. A identificação dos valores do pico da curva de varredura, para cada corante, foram utilizados posteriormente para comparar os valores de absorção dos corantes presentes no efluente após exposição a biomassa do fungo utilizada.

A produção de biomassa teve como objetivo cultivar grandes quantidades do fungo em forma de hifas. Para tanto foi seguida uma metodologia específica composta por várias etapas que poderão ser visualizadas na Figura 11.

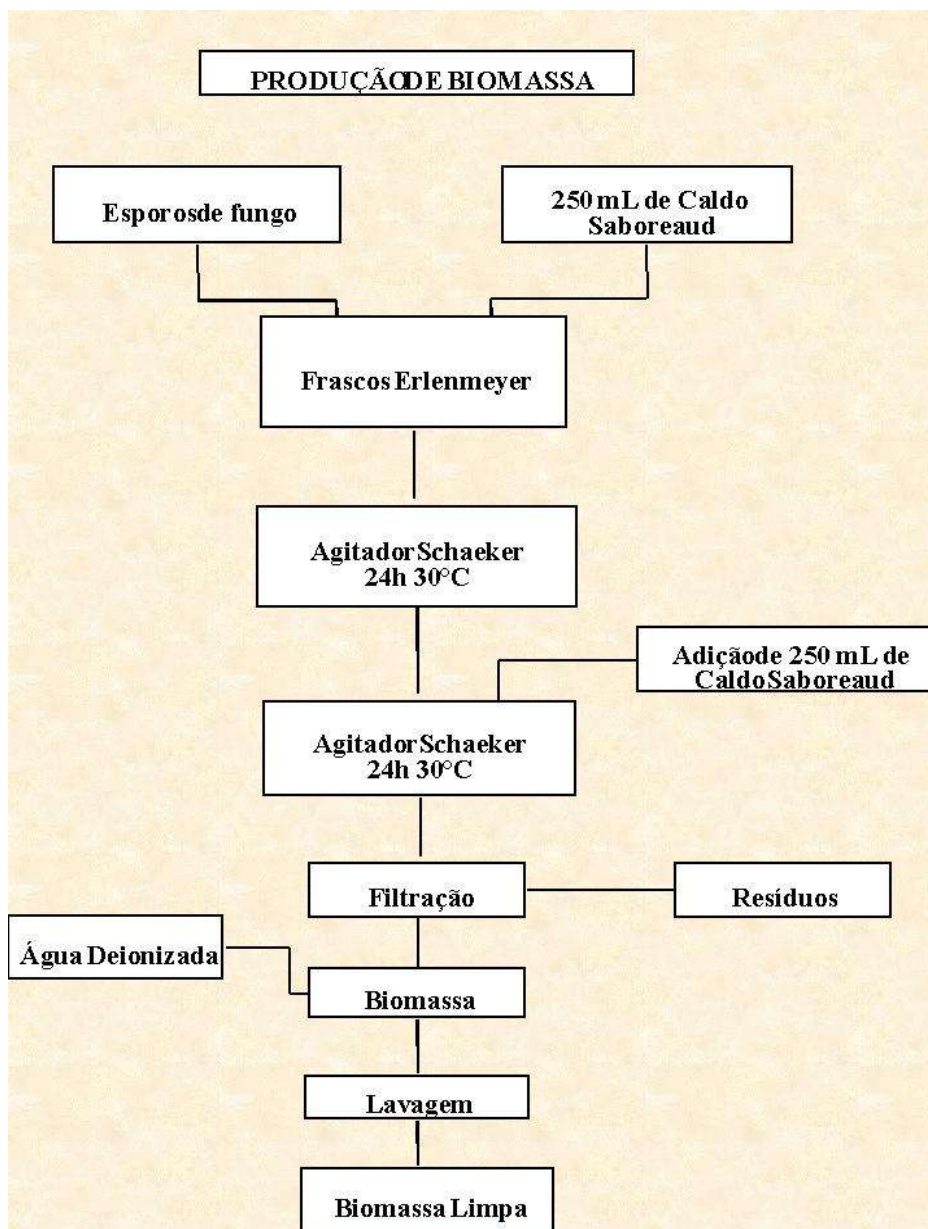
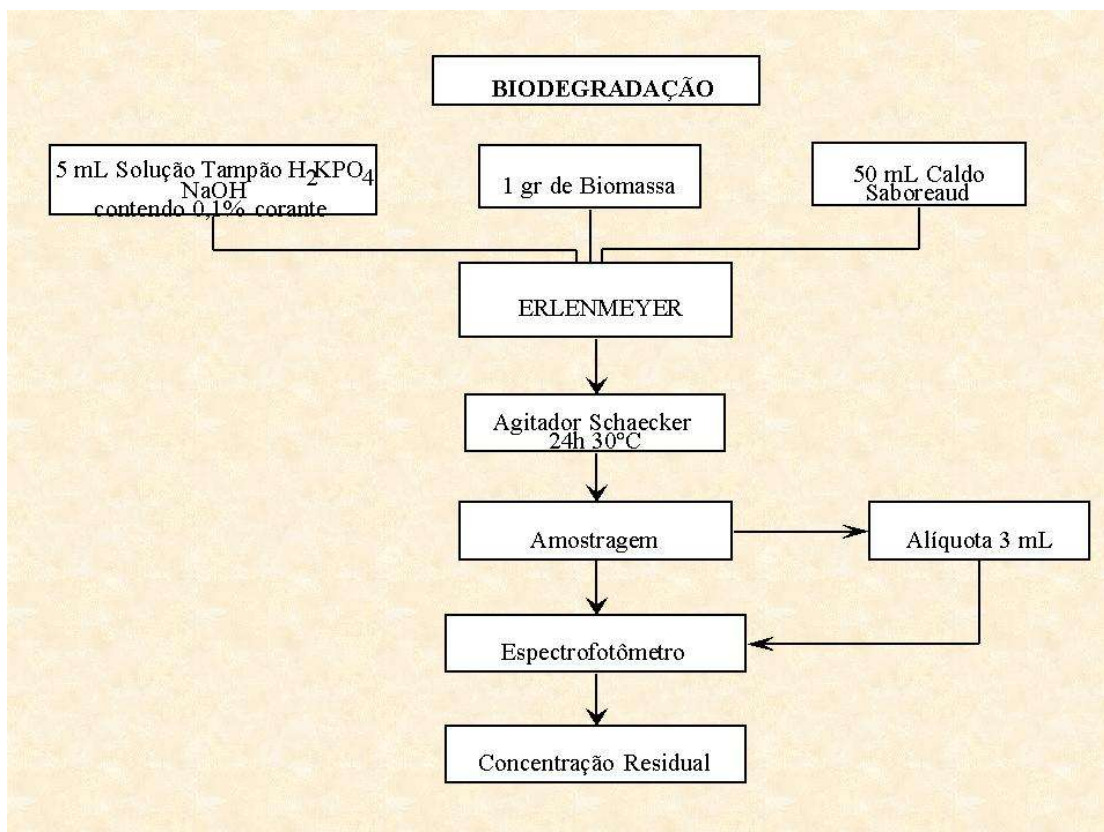


FIGURA 11 – Fluxograma com as etapas da técnica de produção de biomassa

Os ensaios de biodegradação foram realizados através da exposição dos efluentes preparados em laboratório, com os corantes têxteis 4 e 6, à biomassa de fungo anteriormente produzida.

A metodologia utilizada para a realização da técnica de biodegradação compõem-se de várias fases que estão detalhadas na Figura 12.

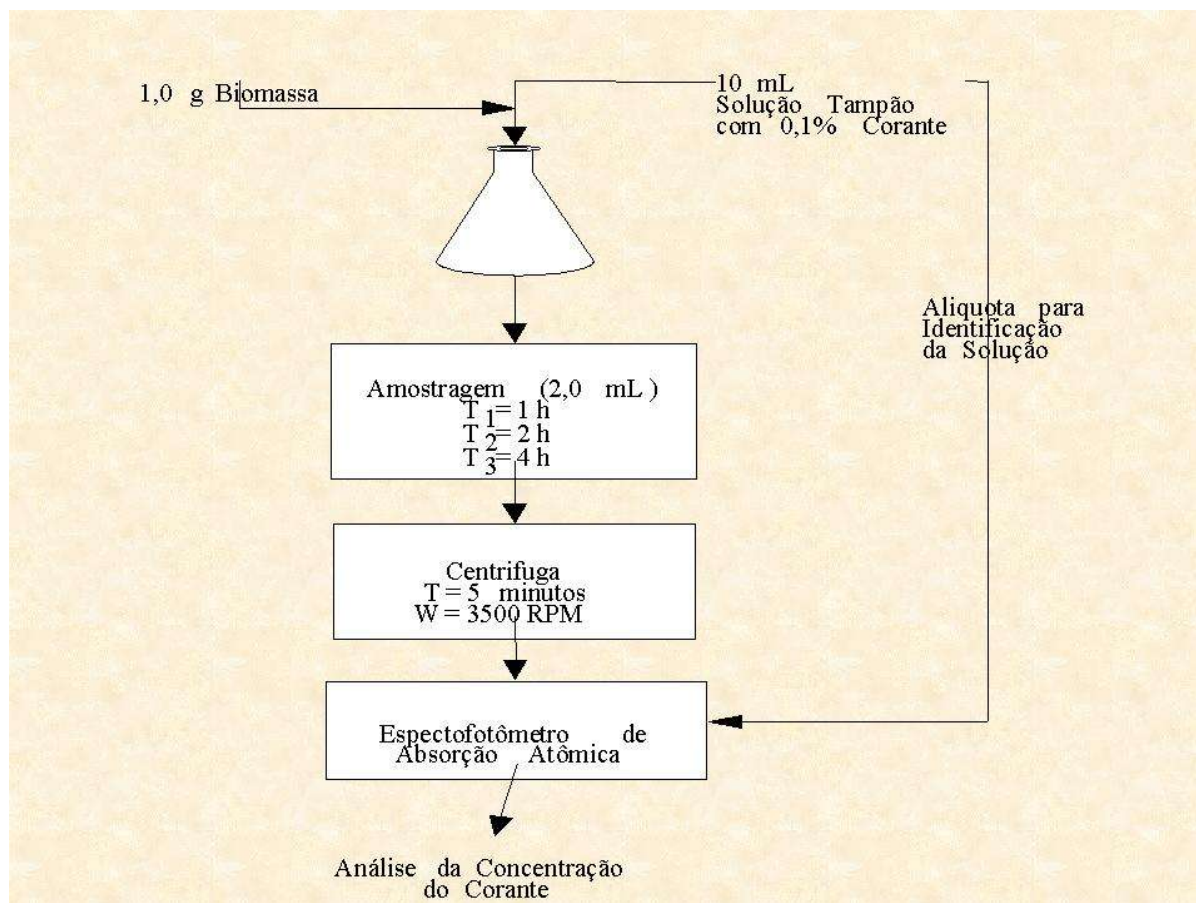


**FIGURA 12 – Etapas da técnica de biodegradação**

A cada 24 horas de exposição do efluente à biomassa do fungo e durante um período total de 72 horas, foram retiradas e centrifugadas alíquotas de 3 mL do efluente. Os sobrenadantes das alíquotas foram submetidos a nova leitura em espectrofotômetro com o objetivo de verificar a redução do corante presente no efluente testado.

Para uma melhor caracterização da descoloração dos corantes presentes nos efluentes, foram realizados ensaios com duração total de 4 horas. A utilização desta técnica possibilitou a quantificação do percentual de remoção de corantes neste intervalo de tempo, que a biomassa utilizada apresentou. O percentual de remoção foi calculado através da quantificação do residual de corante presente nos efluentes após o período de 1, 2 e 4 horas de exposição. Nestes períodos de tempo foram retiradas alíquotas de 2mL, que após centrifugação, foram submetidos a leituras feitas no espectrofotômetro, que possibilitaram comparar os valores de dos corantes antes e após a aplicação da biomassa.

A metodologia utilizada para a realização da técnica compõem-se também de várias fases que podem ser acompanhadas na Figura 13.



**FIGURA 13 – Etapas da técnica de biodegradação em menor período de tempo**

Os resultados obtidos na primeira parte desta pesquisa (seleção e isolamento de fungos e descoloração de corantes), assim como os resultados advindos da metodologia utilizada na segunda parte, no que se refere às técnicas de biodegradação são descritos no decorrer do item a seguir.

### **3.4 Avaliação da eficiência fúngica para remoção de corantes**

#### **3.4.1. Seleção e isolamento de fungos**

As amostras de efluente têxtil, solo de lavouras de fumo, solo de mata, lodo de fundo de lago

e de chorume, acusaram a presença de diversas colônias morfologicamente distintas. Estes resultados permitiram avaliar a dinâmica dos microrganismos bem como suas capacidades de sobreviverem em locais contaminados como por exemplo nas lavouras de fumo (que recebem altas quantidades de agrotóxicos), no chorume e mesmo nos efluentes têxteis que normalmente apresentam temperaturas entre 50 – 60°C.

Nas figuras 14 – 17 podem ser observados alguns exemplos das colônias de fungos encontradas nas diversas amostras utilizadas.



**FIGURA 11 – Colônias de fungos isoladas de chorume (acima) e colônias isoladas de amostras de lodo de fundo de lago (abaixo)**





**FIGURA 12– Colônias de fungos isoladas de amostras de solos de lavoura de fumo**



**FIGURA 13 – Colônias de fungos isoladas de solos de mata**



**FIGURA 14– Colônia de fungo isolada de efluente têxtil**

Não foi verificada a presença de bactérias nas amostras pois as colônias isoladas apresentaram estruturas características de fungos. Além disso, foi utilizado meio de cultivo específico para isolamento de fungos, o que limitou o desenvolvimento de colônias de bactérias.

Entre todos os tipos de amostras coletadas verificou-se que nas amostras de chorume ocorreram o maior número de colônias de fungos. Este fato pode ser relacionado com a característica dos elementos que compõem o chorume.

Em função do grande número de colônias de fungos encontradas nas amostras, foram selecionadas, ao final do período total de incubação de 7 dias, aquelas colônias mais representativas entre todas as amostras coletadas, totalizando 17 amostras de fungo morfológicamente distintas. Cabe mencionar que nesta etapa não foram identificadas as colônias de fungo encontradas nas diferentes amostras. O número que identifica cada colônia e o local de origem de onde estas foram coletadas, estão detalhados na tabela 05.

**TABELA 04 – Número de identificação e local de origem das colônias de fungo.**

Origem
Lavoura de fumo
Lavoura de fumo
Lavoura de fumo
Lavoura de fumo

Lavoura de fumo  
Lavoura de fumo  
Lavoura de fumo  
Lavoura de fumo  
Lavoura de fumo  
Solo de mata  
Efluente  
Lodo  
Lodo  
Lodo  
Lodo  
Lodo  
Lodo  
Chorume

---

Posteriormente as 17 colônias de fungos selecionadas, foram induzidas ao crescimento em presença de oito tipos de corantes têxteis. Os ensaios foram realizados em triplicata sobre as placas de Petri. Na figura 18 podem ser observados os oito corantes utilizados na preparação dos efluentes têxteis sintéticos.



**FIGURA 15– Corantes têxteis utilizados para os testes de indução de crescimento e descoloração**

A indução de crescimento dos fungos em presença dos corantes acima mencionados, foi realizada durante um período total de 72 horas. Durante este período de tempo foram feitas as leituras das taxas de crescimento das colônias de fungo nos períodos de 24h, 48h e 72 horas,

em todas as triplicatas.

O número de colônias que apresentaram crescimento nas triplicatas estão detalhados na tabela 06.

**TABELA 05 – Crescimento das colônias de fungo em presença dos 8 corantes presentes nos efluentes preparados**

<b>Colônias</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>
12	1	1	1	1	2	3	3	3
13	1	1	2	2	2	3	3	3
14	1	1	1	1	1	2	2	3
18	-	-	1	1	1	1	2	2
19	-	-	-	1	1	1	1	2
20	1	2	2	2	2	3	3	3
22	1	1	1	2	2	3	3	3
24	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	2	2	2	3
<b>10</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
31	-	-	1	1	1	1	1	2
32	2	2	2	3	3	3	3	3
<b>32 C</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
36	1	1	1	2	2	2	2	3
37	2	2	1	1	2	3	3	3
<b>40</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Na tabela 06, **C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 e C8** correspondem a denominação adotada inicialmente para os efluentes preparados com os oito corantes têxteis.

Os resultados referentes à indução de crescimento das 17 colônias em presença dos corantes, durante os períodos de 24, 48 e 72 horas, serão comentados a seguir e podem ser vistos na

tabela 07. Esta demonstra o crescimento positivo e negativo das colônias de fungo durante o período de 72 horas. Estes resultados demonstram que a maioria das colônias apresentaram crescimento somente no final do período de 72 horas.

Na tabela 07, *P* significa crescimento positivo e *N* não houve crescimento.

**TABELA 06 – Crescimento positivo e negativo das colônias em presença de corantes, durante o período de 72 horas.**

<b>Colônias</b>	<b>Origem</b>	<b>24 h</b>	<b>48 h</b>	<b>72 h</b>
12	Lavoura de fumo	N	N	P
13	Lavoura de fumo	N	N	P
14	Lavoura de fumo	N	N	P
18	Lavoura de fumo	N	N	P
19	Lavoura de fumo	N	N	P
20	Lavoura de fumo	N	N	P
22	Lavoura de fumo	N	P	P
24	Lavoura de fumo	N	N	N
25	Lavoura de fumo	N	N	N
29	Solo de mata	N	P	P
<b>10</b>	<b><i>Efluente</i></b>	<b><i>P</i></b>	<b><i>P</i></b>	<b><i>P</i></b>
31	Lodo	N	N	P
32	Lodo	N	P	P
<b>2 C</b>	<b><i>Lodo</i></b>	<b><i>P</i></b>	<b><i>P</i></b>	<b><i>P</i></b>
36	Lodo	N	N	P
37	Lodo	N	N	N
<b>40</b>	<b><i>Chorume</i></b>	<b><i>P</i></b>	<b><i>P</i></b>	<b><i>P</i></b>

Após o período total de incubação (72 horas), os resultados da indução de crescimento mostraram que apenas as colônias (24 e 25) não apresentaram crescimento. Pôde-se verificar que das 15 colônias restantes que apresentaram algum indício de crescimento, destacaram-se as colônias (37, 10, 32, 32C e 40), por terem apresentado traços de crescimento já nas primeiras 24 horas de incubação.

Após o período de 48 horas verificou-se também indícios de crescimento das colônias (22 e 29). Estes resultados permitiram avaliar que a presença do corante no meio de cultivo não foi um fator limitante para o crescimento destas colônias, porém ambas apresentaram um

crescimento tardio em relação as colônias 37, 10, 32, 32C e 40.

Entre todas as colônias que apresentaram indícios de crescimento nas primeiras 24 horas de incubação, pode-se destacar as colônias (10, 32C e 40), pois estas apresentaram altas taxas de crescimento em todas as placas da triplicata, e nos três pontos onde as mesmas foram inoculadas, como já visto na tabela 07.

A característica destas colônias de fungo indicaram a capacidade das mesmas de crescerem em meio de cultivo contendo corantes, assim como uma predisposição para a descoloração dos efluentes, independente do tipo de corante utilizado. Percebe-se também que os fungos originários das amostras de solo de lavoura de fumo apresentaram deficiências de crescimento quando comparados com os fungos das amostras de lodo, efluente e chorume.

Embora o chorume possua características físico-químicas agressivas ao meio ambiente (baixo pH e concentrações de elementos tóxicos para microrganismos), este apresentou maior número de colônias de fungos morfológicamente distintas.

Em função das características apresentadas pelas colônias 10, 32C e 40, nesta etapa, as mesmas foram selecionadas para serem utilizadas nos testes de descoloração dos corantes têxteis.

### **3.4.2 Descoloração de corantes**

Para os ensaios de descoloração foram utilizados 8 corantes. Com cada um destes corante foram preparadas soluções com diluições seriadas partindo-se de 6,4% (V/V) até 0,0125% (total de 10 diluições), conforme mencionado no item 3.2.1.2 da metodologia.

Os resultados dos diâmetros dos halos de descoloração das colônias 10, 32C e 40 não apresentaram variações em função das diferentes concentrações de corante presente nos efluentes preparados em laboratório.

Estes resultados podem ser visualizados nas tabelas 08, 09 e 10.

**TABELA 07 – Diâmetros médios dos halos de descoloração da colônia 10 em função da concentração dos corantes.**

COLÔNIA 10								
Concentração Corante (% vol./vol.)	Efluentes							
	Diâmetro médio Halos (mm)							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
6,4	23,2	37,7	20	33,2	20	24,6	31,2	31,9
3,2	27,1	34,3	21,8	31,8	19,9	31,3	32,8	37,7
1,6	24,3	33,5	21,8	32,7	20,5	29,3	32,9	37,7
0,8	<b>24,8</b>	36,4	22,1	34,2	21,7	27,8	34,1	37,4
0,4	28,9	32,9	23,1	32,9	19,3	34,1	32,7	38,5
0,2	23,8	36,4	22,4	34,4	21,2	29,8	36,8	37,6
0,1	24,4	34	22,1	36,9	22,7	29	36,3	39,8
0,05	29,9	37,6	22	35,9	22,3	34,2	34,6	40
0,025	24,7	36,4	24,6	36,3	22	36,1	35,5	37,9
0,0125	27	36	28,5	35,1	26,2	34,9	38,5	35,1
<b>Média Halo</b>	<b>25,8</b>	<b>35,5</b>	<b>22,8</b>	<b>34,3</b>	<b>21,6</b>	<b>31,1</b>	<b>34,5</b>	<b>37,4</b>

**TABELA 08 - Diâmetros médios dos halos de descoloração da colônia 32C em função da concentração dos corantes.**

COLÔNIA 32C								
Concentração Corante (% vol./vol.)	Efluentes							
	Diâmetro médio Halos (mm)							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
6,4	37,6	40,5	33,1	37,4	28,2	41,3	37,4	41,9
3,2	35	42,4	33,9	37	29,1	40,7	39	40,9
1,6	38,5	40,9	33,7	38,8	29,4	38,6	37,8	42,8
0,8	36,9	40,8	35,8	37,5	29,6	41,4	39,4	42,6
0,4	39,3	41	34,1	37,2	32,4	41,6	38,8	42,5
0,2	35,6	41,3	36	37,1	29,8	42,1	38,3	41,2
0,1	36,4	42	34,4	37	35,1	41,7	41	41,4
0,05	37,8	41,4	36,7	38,2	29,8	42,5	40,6	43,2
0,025	39,2	42,2	34,3	39,8	30,7	42,8	40,6	43,5
0,0125	39,1	43	39	40,5	30,9	43,3	41,3	44,4
<b>Média Halo</b>	<b>37,5</b>	<b>41,6</b>	<b>35,1</b>	<b>38,1</b>	<b>30,5</b>	<b>41,6</b>	<b>39,4</b>	<b>42,4</b>

**TABELA 9 – Diâmetros médios dos halos de descoloração da colônia 40 em função da concentração dos corantes.**

COLÔNIA 40								
Concentração Corante (% vol./vol.)	Efluentes							
	Diâmetro médio Halos (mm)							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
6,4	28,9	32,8	25,5	30	30,7	29,5	27,2	27,5
3,2	27,8	30,6	25,7	30,4	27,6	24,3	26,5	26,3
1,6	29,2	30,8	26,2	30,1	28,6	29,4	27,8	27
0,8	28,7	30,4	25,2	31,7	29,2	28,6	27,6	28,3
0,4	28,5	30,3	25	29,8	26,1	29,4	29,3	25,6
0,2	26,8	32,1	28	30,7	29,3	28,1	30,6	27,7
0,1	27,6	33	26	31,7	29,9	27,1	29,1	27,7
0,05	31	27,8	25,5	31,2	30,5	27,4	31,9	28
0,025	33,3	31,9	27	31,9	31,6	30	27,1	29,6
0,0125	31,2	34	29,5	33,3	33,3	30,5	28	30,8
<b>Média Halo</b>	<b>29,3</b>	<b>31,4</b>	<b>26,4</b>	<b>31,1</b>	<b>29,7</b>	<b>28,4</b>	<b>28,5</b>	<b>27,9</b>

A comparação do tamanho dos halos formados para cada colônia na presença dos corantes, demonstra que não há uma nítida dependência entre tamanho de halos em função da concentração dos corantes presentes nos efluentes têxteis preparados.

O tamanho médio dos halos demonstra que todas as 3 colônias selecionadas apresentam capacidade de descoloração dos corantes presentes nos efluentes independente do tipo de corante nele presente.

Os dados referentes ao tamanho do diâmetro dos halos de degradação que as colônias de fungo 10, 32C e 40 apresentaram, também foram testados através da análise de variância através do teste de Tukey HSD do programa Estatístico (SPSS) onde foram considerados os diferentes corantes utilizados e as diferentes concentrações.

Os resultados demonstraram que as variações entre os corantes e as diferentes concentrações não apresentaram diferenças significativas na descoloração.

Estes dados permitem concluir que, apesar de existirem diferenças entre os tamanhos médios dos halos de degradação assim como variações entre as concentrações onde ocorreram os maiores e os menores diâmetros nas diferentes concentrações de corantes, as colônias 10, 32C e 40 demonstraram-se eficientes na degradação dos corantes têxteis.



### 3.5 Biodegradação

Antes da realização dos testes de biodegradação procedeu-se a identificação da colônia 40, segundo a metodologia descrita por Putzke & Putzke (2000). Os resultados demonstraram que esta colônia pertence ao Gênero *Aspergillus*, conforme ilustra a figura 19.

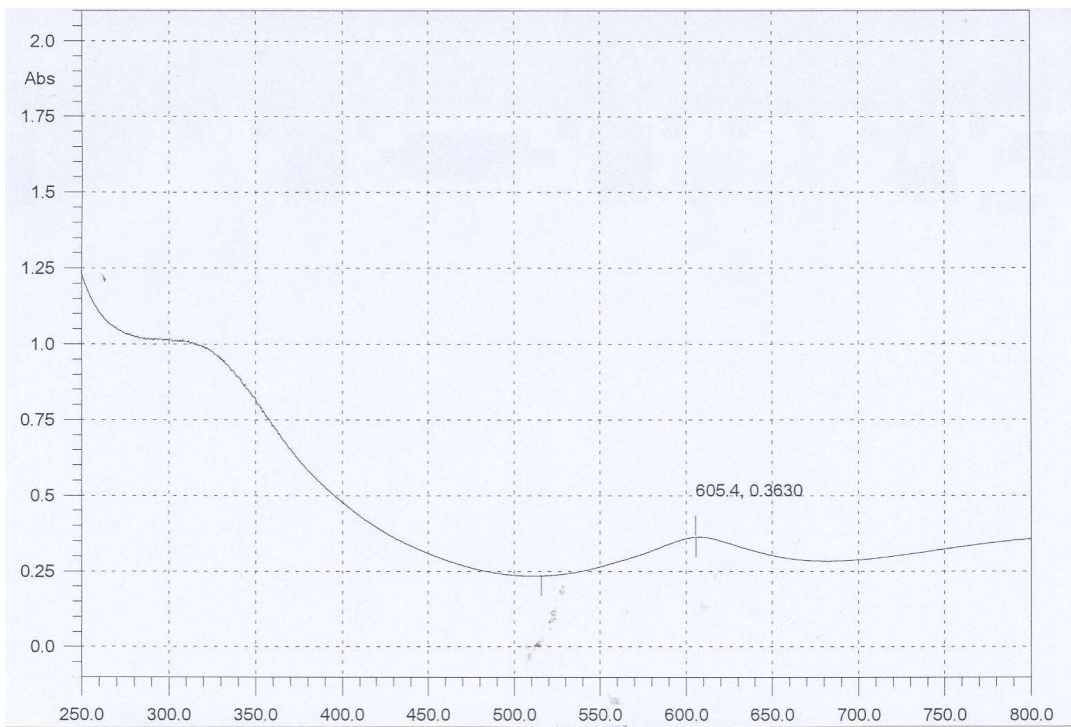


FIGURA 16 – Fungo do Gênero *Aspergillus*.

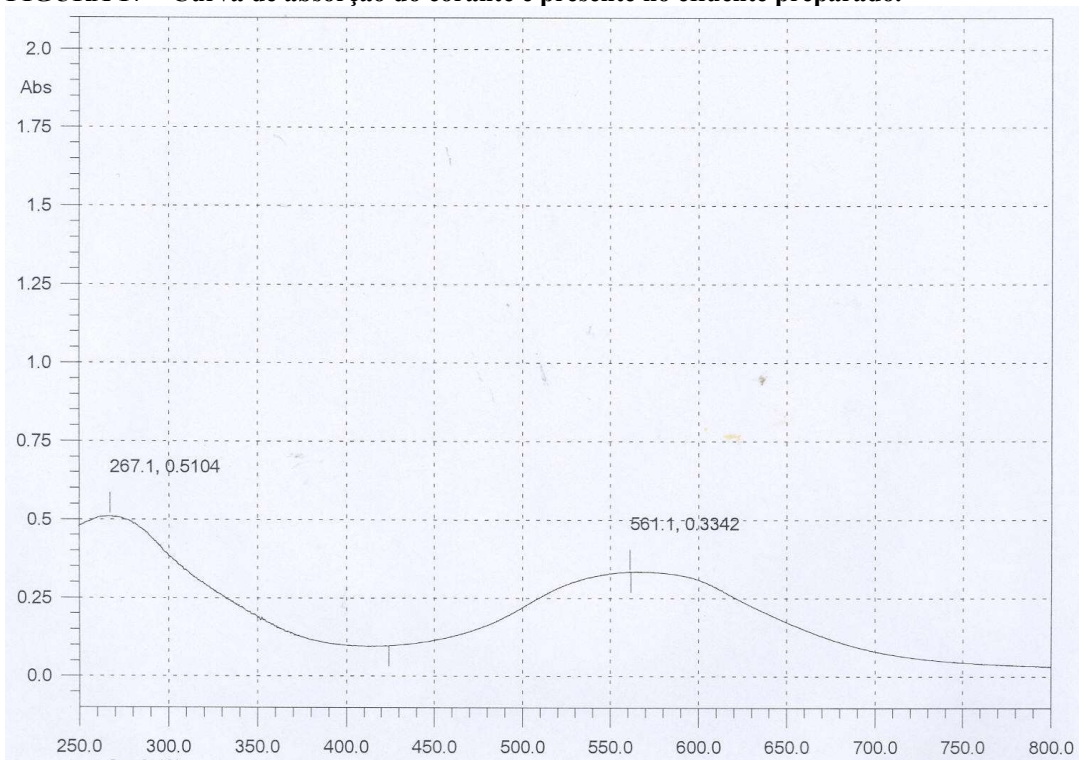
Em relação aos corantes selecionados para a realização dos testes de biodegradação, somente os corantes 4 e 6 foram utilizados, por apresentarem maior facilidade de diluição na preparação dos efluentes têxteis sintéticos.

Os efluentes sintéticos preparados possuíam concentrações de 0,1% (V/V) dos corantes 4 e 6 respectivamente.

Nas Figuras 20 e 21 estão apresentados os espectros da curva analítica de dos dois efluentes utilizados. O efluente preparado com o corante 4 apresentou o pico máximo em 605,4 nm. Por sua vez, o efluente preparado com o corante 6, apresentou um pico máximo de 561,1 nm.

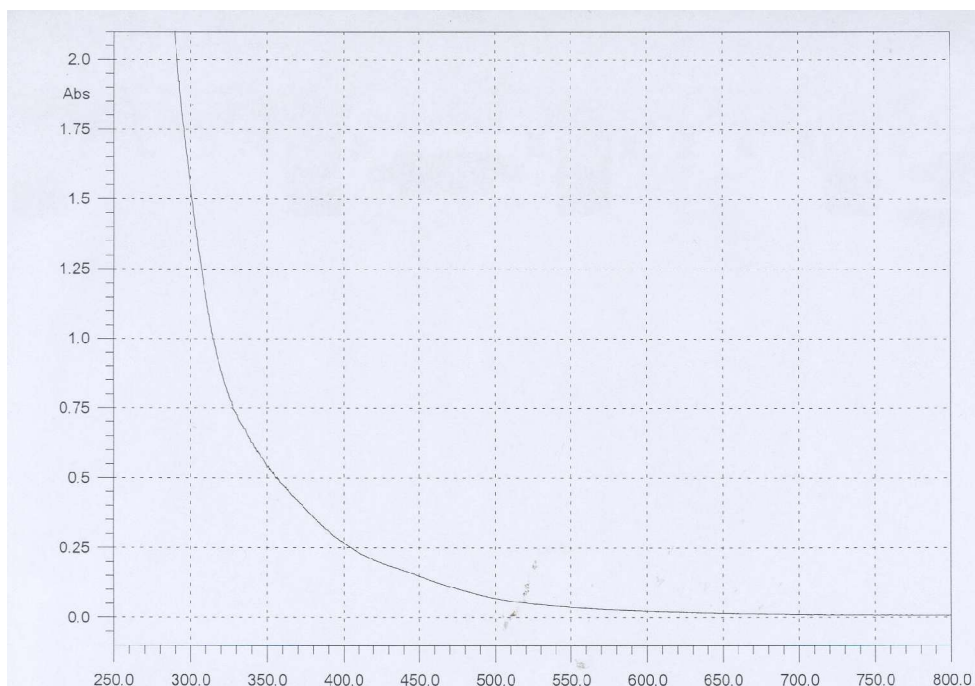


**FIGURA 17 – Curva de absorção do corante e presente no efluente preparado.**

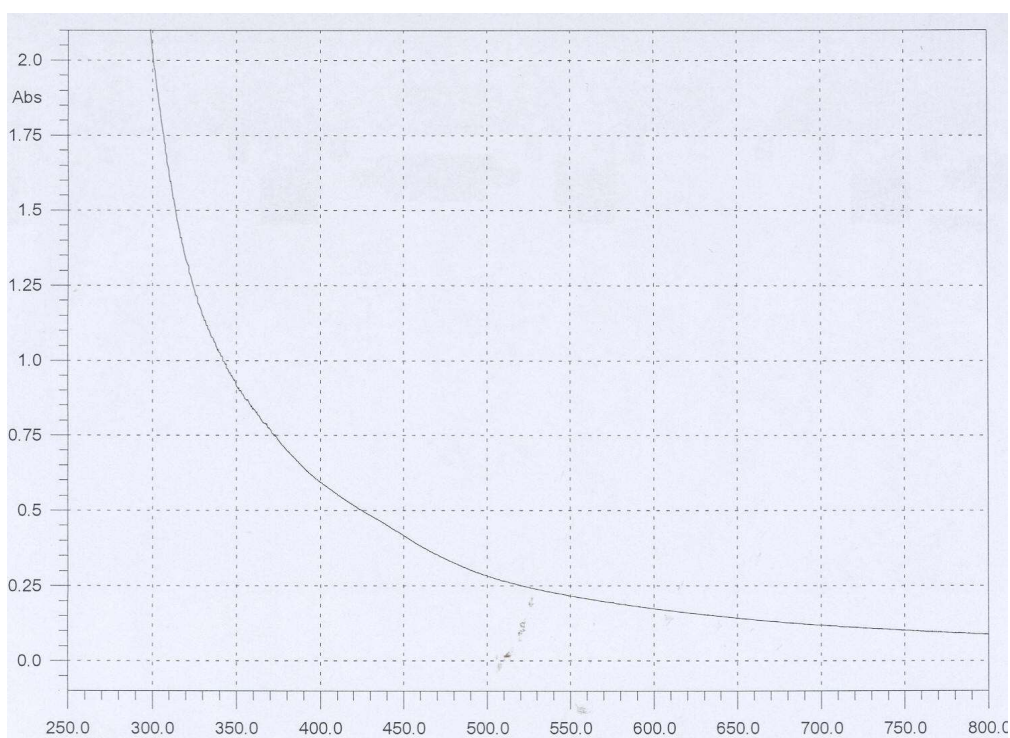


**FIGURA 18 – Curva de absorção do corante 6 presente no efluente preparado.**

Os resultados da descoloração das soluções de corantes foram obtidos por meio das alíquotas (3 mL) retiradas a cada 24 horas dos frascos Erlenmeyers e encontram-se nas figuras 22 e 23.



**FIGURA 19 – Curva de absorção do corante 4 após o período de 24 horas.**



**FIGURA 20 – Curva de absorção do corante 6 após o período de 24 horas.**

Estes resultados demonstram que o fungo *Aspergillus* apresenta alta capacidade de remoção de corantes uma vez que estes, no período de 24 horas, não mais se faziam presentes nos efluentes.

Em relação ao tempo necessário para que a degradação dos corantes têxteis ocorra, vários

estudos tem demonstrado que o tempo médio de exposição do efluente a ser tratado com a biomassa utilizada, geralmente está em torno de 3 a 5 dias de exposição. Porém, estudos realizados por Assadi (2001), demonstram que fungos pertencentes ao Gênero *Aspergillus* são capazes de realizar a degradação completa de corantes têxteis num período de até 20 horas. Estes resultados vêm de encontro com os resultados deste trabalho, uma vez que os corantes utilizados já não foram mais detectados após 24 horas de contato com a biomassa deste fungo.

Portanto, para uma melhor caracterização da biodegradação dos efluentes que continham em sua composição 0,1% (vol/vol) dos corantes 4 e 6, o tempo de ensaio foi reduzido. Ensaio em tempos de 1h, 2h e 4 horas foram realizados para determinar a taxa de descoloração de dois efluentes sintéticos utilizados visando avaliar o potencial da amostra de fungo *Aspergillus*.

Estes ensaios tem como objetivo verificar a capacidade do percentual de degradação do fungo *Aspergillus* em presença dos corantes 4 e 6 durante o período de 1h, 2h e 4 horas. O ensaio foi realizado em triplicata e os valores de absorção dos corantes estão representados na tabela 11.

**TABELA 10 – Média dos valores de absorção dos corantes 4 e 6 obtidos nos períodos de 1h, 2h e 4 horas.**

Efluente	Absorção média em (nm)		
	1 hora	2 horas	4 horas
4A	0,1850	0,1734	0,1379
4B	0,2202	0,1938	0,1341
4C	0,1821	0,1796	0,1517
<b>Abs. Média</b>	<b>0,1958</b>	<b>0,1822</b>	<b>0,1412</b>
6A	0,1697	0,1599	0,0882
6B	0,2147	0,2294	0,1059
6C	0,2113	0,1883	0,0982
<b>Abs. Média</b>	<b>0,1986</b>	<b>0,1925</b>	<b>0,0974</b>

Os valores médios de absorção obtidos para os corantes 4 e 6, foram utilizados para calcular o percentual de concentração dos corantes nos intervalos de 1h e 2h e no período total de tempo de 4 horas.

Os resultados demonstraram que o fungo *Aspergillus* foi capaz de reduzir a porcentagem dos dois corantes presentes nos efluentes já na primeira hora do experimento.

A redução total do corante 4 solubilizado atingiu um valor final de 86% após o período de 4 horas. Já a redução total do corante 6 presente no efluente sintético atingiu 91% de redução no mesmo período de tempo.

Com o objetivo de verificar a confiabilidade destes resultados foram realizados testes estatísticos (ANEXO A) onde se considerou a inclinação da reta em função absorbância e das variações de concentração dos percentuais de absorção em cada intervalo de tempo em função da concentração inicial dos corantes, através da fórmula ( $y = bx + a$ ), onde:

$y$  = absorbância

$b$  = inclinação da reta

$x$  = concentração

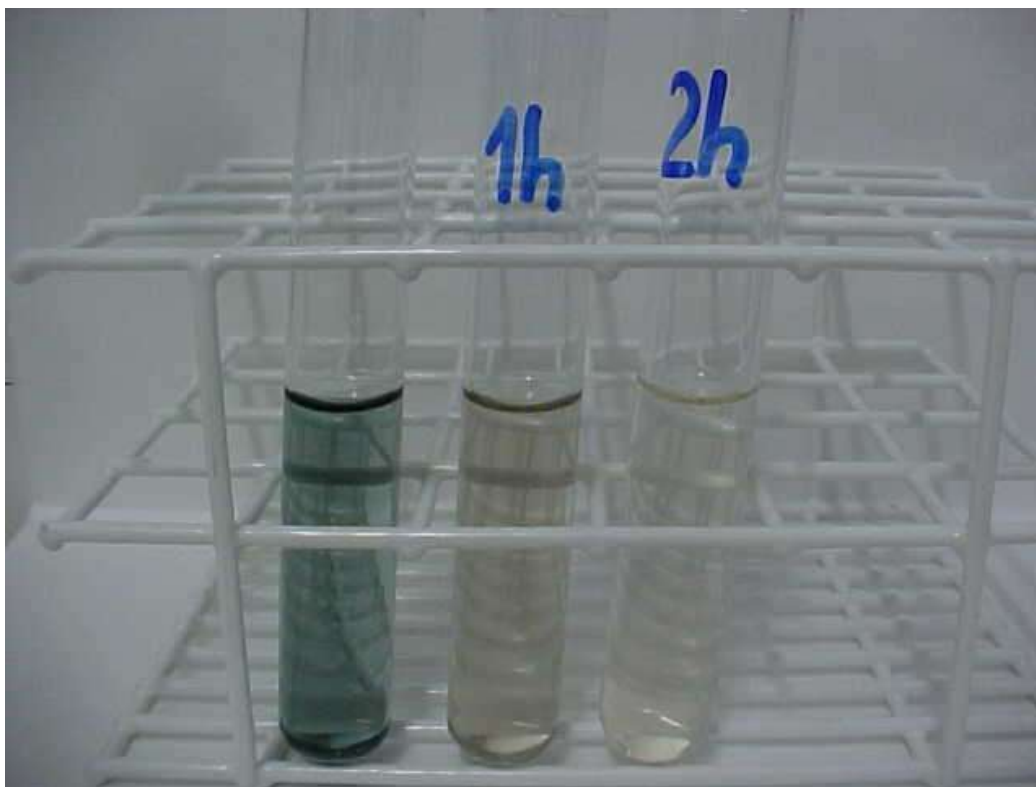
$a$  = intersecção da reta no eixo  $y$

Os resultados de absorção dos corantes 4 e 6 nos intervalos de tempo de 1h, 2h e 4horas estão apresentados nas Figuras 24 e 25.

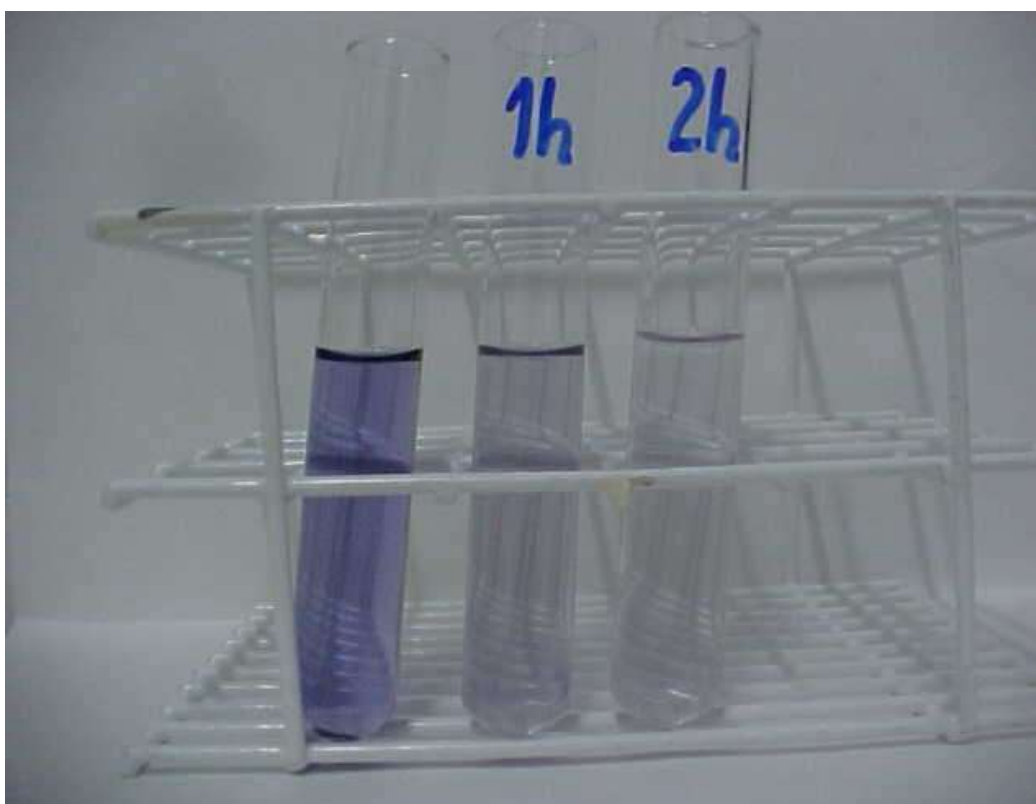
**FIGURA 21 – Degradação do corante 4 nos intervalos de 1h, 2h e 4 horas**

**FIGURA 22 – Degradação do corante 6 nos intervalos de 1h, 2h e 4 horas**

Nas figuras 26-28 são apresentadas imagens com os efluentes preparados com os corantes 4 e 6 sem a adição da biomassa e após 1 e 2 horas de exposição ao fungo *Aspergillus*. As imagens mostram claramente a redução da cor nas soluções nos intervalos de tempo citados.



**FIGURA 23** – Efluente preparado com o corante 4 antes da adição de biomassa e após 1h e 2 horas de exposição à biomassa.



**FIGURA 24** – Efluente preparado com o corante 6 antes da adição de biomassa e após 1h e 2 horas de exposição à biomassa.



**FIGURA 25** – Efluentes preparados com os corantes 6 e 4, respectivamente após 10 minutos de exposição à biomassa.

As diferenças das taxas de biodegradação dos corantes podem estar associadas à estrutura química ou à composição química dos corantes. Para uma afirmação mais categórica desta hipótese seria preciso conhecer a composição química dos corantes e sua estruturas moleculares. Estas informações permitiriam avaliar de uma forma mais precisa os mecanismos utilizados pelo fungo *Aspergillus* para a biodegradação dos corantes.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que as preocupações com os aspectos quali/quantitativos dos recursos hídricos, com referência às suas disponibilidades de uso, perpassam vários períodos da história da humanidade. Nestes períodos, a disponibilidade hídrica do território é considerada um fator determinante no desenvolvimento das sociedades, devido a importância que lhe é atribuída por ser um elemento vital.

Os esforços humanos que visam controlar os efeitos antrópicos sobre os recursos hídricos se fazem presentes desde a Antigüidade e parecem tomar proporções maiores, ao mesmo tempo em que se estreitam as relações entre a disponibilidade e a demanda por este recurso.

Afirma-se que muitas destas técnicas evoluíram significativamente, desde a antigüidade até os dias atuais. O desenvolvimento científico e tecnológico, que permite gerenciar e controlar os efeitos negativos sobre os recursos hídricos, em alguns casos não são eficientes.

A especialização dos setores produtivos, principalmente dos industriais, geram diferentes formas de poluição, e necessitam de tratamento específico, devido às altas cargas de elementos com elevado poder poluente, como os corantes presentes nos efluentes industriais têxteis.

Em relação aos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Pardo/Pardinho, responsável pelas demandas da Região, e do município de Santa Cruz do Sul, percebe-se alterações na disponibilidade de uso. Estas alterações estão em parte relacionadas à características peculiares da Bacia, p. ex. (a região da nascente do Rio Pardinho está localizada em relevo mais elevado, permitindo desta maneira o rápido escoamento da água). A outra parte está

relacionada aos aspectos quali/quantitativos das águas.

Esta situação merece especial atenção visto que, ao mesmo tempo em que existem déficits de água em alguns períodos do ano, ocorre também, o lançamento de grandes quantidades de rejeitos urbanos (efluentes domésticos e industriais) ao longo do curso dos rios que compõem a Bacia.

A poluição dos recursos hídricos gera problemas de disponibilidade deste recurso, que, por consequência, interferem de forma direta na dinâmica de desenvolvimento das localidades envolvidas, através de prejuízos sócio-econômicos.

A importância dos resultados desta pesquisa está na possibilidade de desenvolver novos processos tecnológicos mais eficientes através da utilização de fungos para o tratamento dos efluentes industriais têxteis, uma vez que, este setor enfrenta problemas em relação ao tratamento dos seus efluentes, devido a dificuldade encontrada em remover os corantes de seus efluentes.

Nesta perspectiva, o presente trabalho contribui com a proposta de desenvolvimento regional, com ênfase na gestão e no controle dos poluentes industriais têxteis. Verificou-se, que os resultados advindos das técnicas de bioabsorção e são consideradas ferramentas adaptáveis às novas tecnologias ambientais que desempenham um papel importante para o desenvolvimento de forma sustentável, permitindo o crescimento econômico sem comprometer a integridade ambiental.

## **ANEXO**

**ANEXO A – CURVA ANALÍTICA DOS CORANTES 4 E 6, RESPECTIVAMENTE.**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AAGISA – Agência de Águas, Irrigação e Saneamento da Paraíba, 2003.
- 2 ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química e Produtos Derivados. Anuário da Indústria Química, 1997.
- 3 ASSADI, I. *Decolorization of tanning house effluent by Aspergillus niger in tannery industries for biological removal of chromium*. Iranian: Biotechnology Division, Research Organization For Science and Technology. vol.2, n. 3 e 4 2001.
- 4 ASSIS, José Chacon de. *Brasil 21: uma nova ética para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro: CREARJ, 2001.
- 5 BANAT, I. M.; NIGAM, P.; SINGH, D.; MARCHANT, R. *Ethanol Production at Elevated Temperatures and Alcohol Concentrations: A Review Part I- Yeast in General*. *World Journal for Microbiology and Biotechnology*, 14, 809-921, 1998.
- 6 Brown, M. A.; Vazoller, R. F. *Biodegradation of textile dyes*. *Rev. Environmental Science and Technology*. P. 23-249, 1993.
- 7 CASSIER, E. *et al. Antropologia filosófica*. São Paulo: Mestre Jou, 1973.
- 8 COIMBRA, Avila. *O outro lado do meio ambiente*. São Paulo: CETESB, 1985.
- 9 COMMITTEE ON RESTORATION OF AQUATIC ECOSYSTEMS: Science, Technology and Public Policy. In \_\_\_\_ *Restoration of Aquatic Ecosystems*. Washington, EUA: National Academy Press, 1992.
- 10 COUTO, A . B.; RAMOS, L. A .; CAVALHEIRO, E. T. G.; Aplicação de pigmentos de flores no ensino de química. *Química Nova*, Brasil, v.21, p. 221-7,

- 1998.
- 11 CRUEGER, W.; CRUEGER, A. *Biotecnologia: Manual de Microbiologia Industrial*. Zaragoza: ACRIBIA, 1993.
  - 12 EATON, D.; CHANG, H.M, KIRK, T.K. *Fungal decolorization of kraft bleach effluents*. TAPPI J. n . 63, 103-106, 1980.
  - 13 ECOPLAN, Engenharia. *Avaliação Quali/quantitativa das disponibilidades e demandas de água na Bacia Hidrográfica dos rios Pardo/Pardinho*. Porto Alegre, 1999.
  - 14 FELLEBERG, Günter. *Introdução aos problemas da poluição ambiental*. São Paulo: Pedagógica, 1980.
  - 15 FERENCZI, Sándor. In \_\_\_\_\_. PINHEIRO, Teresa. *Ferenczi: do grito à palavra*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995.
  - 16 FIELD J.A.; DE JONG, E.; FEIJOO-COSTA, G.; DE BONT, J. A.M. *Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by New Isolates of White Rot Fungi*. Environment Microbiol. 58:2219-2226, 1992.
  - 17 FU, Y. Z.; VIRARAGHAVAN, T. *Removal of a dye from aqueous solution by the fungus Aspergillus niger*. Water Qual. Res. J. Can. 35: 95-111, 2000.
  - 18 GUARATINI, C, C, I.; ZANONI, M. V. B. *Corantes têxteis*. *Revista Química Nova*. São Paulo, n. 1, p. 71-78, fev. 2000.
  - 19 GUILHERME, Anton. *Eaux vives et eaux mortes entre Moyen Age et Renaissance*. In \_\_\_\_\_. BERNARDIS, M. A .; NESTEROFF, A . (Orgs) *Le grand livre de l'eau*. Paris. 1990, p. 106-114.
  - 20 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo demográfico, 2000. (<http://www.ibge.gov.br/censo/default.php>)
  - 21 Instituto Geológico e Mineiro (2001). *Água Subterrânea: Conhecer para Preservar*

*o Futuro*. Versão Online no site do IGM -

([http://www.igm.pt/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/indice.htm](http://www.igm.pt/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm)).

- 22 KELLER, V.; BASTOS, C. Pesquisa científica. In: \_\_\_\_\_. *Aprendendo a aprender: introdução à Metodologia Científica*. Petrópolis: Vozes, 1991. p. 54-58.
- 23 KIRBY, N.; MULLAN, G. MC.; MARCHANT, R. Biodegradation of textile dyes. *Biotech. Lett.* 74-179,1995.
- 24 ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY. New York: John Wiley and Sons, 1990.
- 25 KÖCHE, José Carlos. *Fundamentos de metodologia científica : teoria da ciência e prática da pesquisa*. Petrópolis: Vozes, 2001.
- 26 KUNZ, A.; FREIRE, R.S.; ROWEDLER, J.J.R.; MANSILLA, H.; RODRIGUEZ, J.; DURAN, N. Novas tendências no tratamento dos efluentes têxteis. *Rev. Quim. Nova*. São Paulo, n. 1, p. 78-82, 2002.
- 27 LERAY, Guy. *Planète Eau*. Paris: Presse Pocket, 1982.
- 28 LIEBMANN, Hans. *Terra, um planeta inabitável: da antigüidade, até os nossos dias, toda a trajetória poluidora da humanidade*. Rio de Janeiro: Editora do Exército,1979.
- 29 MOTA, Seutônio. *Introdução à engenharia ambiental*. Rio de Janeiro: ABES, 2000.
- 30 NEDER, Nelly Rahme. *Microbiologia: manual de laboratório*. São Paulo: Nobel, 1992.
- 31 NICOLAZO J.L.; KACZYNAREK, B. *Les agences de l'eau*. Paris: Pierre Johanet & Fils, 1989.
- 32 ODUM, Eugene. *Ambiente, energia y sociedad*. Barcelona: Blume, 1980.

- 33 PUTZKE, J.; PUTZKE, M. T. L. *Os reinos dos fungos*. Vol II. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002.
- 34 RODRÍGUEZ, E.; PICKARD, M.A.; VAZQUEZ-DUHALT, R. Industrial dye decolorization by laccases from ligninolytic fungi. *Curr. Microbiol.* N.38, p. 27-38, 2000.
- 35 SCHAMA, Simon. *Paisagem e Memória*. São Paulo: Cia das Letras, 1995.
- 36 SOUZA, Renato Santos de. *Entendendo a questão ambiental : temas de economia, política e gestão do meio ambiente*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2000.
- 37 VAZOLLER, Rosana Filomena. *Manual Técnico sobre Microbiologia de Lodos Ativados*. São Paulo: CETESB, 2002.
- 38 YASSUDA, Eduardo Rioney. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. In \_\_\_\_\_. *RAP- Revista de Administração Pública*. Rio de Janeiro.vol.27, n. 2 abr/jun, 1993.
- 39 WENZEL, José Alberto. *A sustentabilidade qualitativa e quantitativa do abastecimento de água da zona urbana de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 1997.
- 40 WMO - World Meteorological Organization. *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World*. Genebra, 1997.
- 41 ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A . O descarte dos corantes têxteis. *Revista Ciência Hoje*. São Paulo. Ago. 2001. Disponível em:  
<<http://www.uol.com.br/cienciahoje/chmais/pass/ch174/primeira.pdf>>. Acesso em: 10 Dez. 2002.