

INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE – CAMPUS ARAQUARI

**EVERALDO BATISTA DE LARA, LUIZA TEIXEIRA SOUZA,
OTÁVIO RUAN DA CUNHA, THAYNA KAROLINY DA MAIA,
THAYNARA LAURENTINO BELEGANTE**

**REMOÇÃO DE CORANTES EM EFLUENTES INDUSTRIAIS
POR HIDRÓXIDO DUPLO LAMELAR**

ARAQUARI/SC

2016

**EVERALDO BATISTA DE LARA, LUIZA TEIXEIRA SOUZA,
OTÁVIO RUAN DA CUNHA, THAYNA KAROLINY DA MAIA,
THAYNARA LAURENTINO BELEGANTE**

**REMOÇÃO DE CORANTES EM EFLUENTES INDUSTRIAIS
POR HIDRÓXIDO DUPLO LAMELAR**

O Projeto Integrador apresentado ao Instituto Federal
Catarinense – Campus Araquari como parte
complementar à matriz curricular do Curso Técnico em
Química Integrado ao Ensino Médio.

Orientador: Dr. José Paulo Figueiredo Meyer

ARAQUARI/SC

2016

RESUMO

O agravamento dos problemas ambientais em virtude do aumento da atividade industrial tem despertado na sociedade a demanda de novas tecnologias para lidar com os resíduos gerados. Neste âmbito inclui-se a indústria têxtil, cujos rejeitos de corantes são potencialmente poluidores aos ecossistemas, conduzindo ao comprometimento da qualidade da água e do solo. Diversas técnicas vislumbram a remoção de corantes dos efluentes da indústria têxtil que em geral apresentam custos elevados, enquanto que os bioadsorventes caminham na proposta sustentável de aproveitamento de fibras vegetais e outros materiais renováveis para a parcial ou completa eliminação dos materiais poluentes nestes rejeitos. O trabalho em questão, apresenta o hidróxido duplo lamelar como técnica para a remoção do corante têxtil de efluentes industriais. Sintetizando o HDL por meio de um sistema de batelada em reatores agitados. Os métodos utilizados para a caracterização do HDL foram a Difração de raio X, Espectroscopia na região do Infravermelho, e Microscopia Eletrônica de Varredura. Foi realizado análises para encontrar a melhor massa de HDL, o melhor tempo de contato com o pH em valor constante. De acordo com as pesquisas realizadas, a melhor massa foi de 40 mg, o melhor tempo de contato de 4 horas utilizando o HDL a 60 graus em 6 horas de agitação, com 70% de remoção do corante da água.

Palavras-chaves: Corantes; fibras; Hidróxido Duplo Lamelar.

SUMÁRIO

1 TEMA.....	6
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	6
1.2 SITUAÇÃO PROBLEMA.....	6
1.3 HIPÓTESES.....	6
1.4 OBJETIVOS GERAIS.....	7
1.4.1 Objetivos específicos.....	7
2 INTRODUÇÃO.....	7
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
3.1 CORANTES.....	8
3.1.1 Classificação dos corantes.....	9
3.1.1.1 Corantes reativos.....	9
3.1.1.2 Corantes diretos.....	10
3.1.1.3 Corantes azoicos.....	10
3.1.1.4 Corantes ácidos e básicos.....	11
3.1.1.5 Corantes dispersivos.....	12
3.1.1.6 Corantes pré-metálicos.....	12
3.1.1.7 Corantes branqueadores.....	13
3.1.2 Fixação do corante.....	13
3.1.3 Agentes químicos auxiliares.....	14
3.1.4 Tratamentos para remoção.....	15
3.1.5 Impactos no ecossistema.....	17
4 HIDRÓXIDO DUPLO LAMELAR.....	18
4.1 Propriedades.....	20
4.2 Métodos para a síntese.....	21
4.2.1 Coprecipitação.....	22
4.2.2 Sal-óxido.....	23
4.2.3 Síntese hidrotérmica.....	23
4.2.4 Síntese de hidrólise induzida.....	24
4.2.5 Síntese indireta.....	24

	5
4.2.6 Fatores para a síntese.....	25
4.2.7 Aplicação na remoção de efluentes têxteis.....	25
5 METODOLOGIA.....	27
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
6.1 Caracterização do HDL.....	29
6.1.1 Difração de Raio X.....	29
6.1.2 Espectroscopia na região do Infravermelho.....	30
6.1.3 Microscopia eletrônica de varredura.....	31
6.1.4 Curva de adsorção para determinação do melhor tempo de remoção.....	33
6.1.5 Curva de adsorção para determinação da melhor massa de HDL.....	34
7 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 TEMA

Remoção de corantes em efluentes industriais utilizando hidróxido duplo lamelar.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O projeto foi realizado no Instituto Federal Catarinense - Campus Araquari no ano de 2016 com análises experimentais em laboratório, utilizando um sistema de batelada em reatores agitados, na síntese do hidróxido duplo lamelar para remoção de corantes comerciais de efluentes têxteis.

1.2 SITUAÇÃO PROBLEMA

Quais os problemas que ocorrem ao meio ambiente com o desprezo a um tratamento adequado das indústrias têxteis aos corantes, antes de serem despejados nos mananciais?

1.3 HIPÓTESES

Definir o melhor pH e a melhor temperatura para a realização da síntese do hidróxido duplo lamelar, para que se possa realizar a remoção de corantes em indústrias têxteis, que apresentam um grande problema para o meio ambiente.

1.4 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade de adsorventes inorgânicos nanoporosos na remoção de corantes têxteis utilizando um sistema de batelada em reatores agitados, com a utilização do hidróxido duplo lamelar.

1.4.1 Objetivos específicos

- a) Sintetizar os hidróxidos duplos lamelares a partir de cloretos de magnésio alumínio;
- b) Investigar a influência do pH, concentração inicial, tempo de contato na capacidade de adsorção, utilizando corantes comerciais.

2 INTRODUÇÃO

Os corantes apresentam grandes utilidades atualmente, sendo conhecidas desde os tempos primórdios, usando a seiva de plantas que produziam corantes naturais até os dias atuais com o uso em alimentos, indústrias têxteis e cosméticos. A utilização mais concentrada tem sido a dos corantes sintéticos nos meios de produção, como indústrias têxteis, que exibem um demasiado risco ao ambiente aquático por conta do descarte desses efluentes na água.

Os corantes sintéticos são um dos poluentes mais comuns e frequentemente encontrados nas indústrias têxteis. A destinação de esgoto contendo corantes para corpos de água é extremamente importante do ponto de vista ambiental, já que mesmo em baixas concentrações os corantes podem ser altamente tóxicos para os sistemas aquáticos. A elevada toxicidade é um dos grandes problemas de águas residuais contendo corantes, provocando problemas na questão do uso populacional e na fauna e flora dos ecossistemas aquáticos. Cerca de 100 m³ de água são consumidos em média para cada tonelada de tecido processado (82,0 milhões de toneladas de tecidos são processados na indústria brasileira), sendo que após tratamento, muitas vezes ineficientes, é descartado em rios e lagos, aumentando a poluição do meio ambiente. Estima-se que 88% desse volume é descartado como efluente; e os 12% restantes compõem as perdas por evaporação.

Neste projeto foi apresentada a referência bibliográfica dos corantes, acentuado o

Hidróxido duplo lamelar como método para remoção dos efluentes industriais que apresentam excelentes propriedades como, adsorvente, sua elevada área superficial e a capacidade de ser reutilizado. O Hidróxido duplo lamelar foi sintetizado pelo método de coprecipitação á pH constate que favorece melhores condições para absorver o corante na sua estrutura.

3 FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA

3.1 CORANTES

Os corantes têm sido utilizados a muito tempo atrás em diversos casos pelo ser humano, especificadamente começou com o uso natural, extraído de plantas que possuíam substâncias capazes de se obter um corante. Ao longo dos anos foi desenvolvida a criação de corantes sintéticos, sendo a grande maioria compostos orgânicos contendo átomos de carbono capazes de combinar-se e formar várias estruturas como ramificações e anéis aromáticos. O uso intencional do corante tornou-se viável para fins lucrativos, inserido em indústrias têxteis para o tingimento de tecidos com o objetivo de render mais lucros com uma alta fixação do corante nas fibras do tecido, passando por muitos processos como montagem, fixação e tratamento final com a finalidade de introduzir no mercado. (ZANONI, 2000)

A diversidade de corantes tem crescido abundantemente, devido as fibras disporem um requerimento de tintura com características próprias que mais enquadram-se ao seu uso levando em conta uma qualidade melhor. A fixação desses corantes nas fibras é realizada por diversas reações químicas, com o intuito de ao serem colocadas na água, não ocorrer à perda da coloração, alcançando uma resistência à remoção. Porém, esses corantes possuem substâncias tóxicas ao meio ambiente. (ZANONI, 2000)

Esses efluentes têxteis se tornaram um grande problema ambiental pelo seu descarte nas águas públicas, inibindo o processo de fotossíntese realizado pelas algas, poluindo a vida aquática e até mesmo contaminando o tratamento de água do uso populacional. A adversidade enfrentada é causada pelos corantes apresentarem alta solubilidade na água e baixa degradabilidade, há diversos corantes que se solubilizam na água dificultando sua retirada ocasionando toxicidade ao ambiente. (ZANONI, 2000)

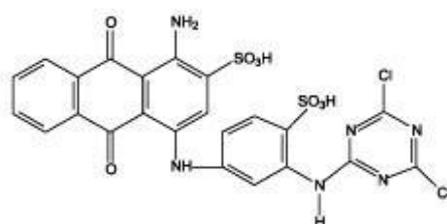
3.1.1 Classificação dos corantes

Os efluentes têxteis são classificados de acordo com a sua estrutura química ou pelo modo como se fixam nas fibras. A estrutura da fibra é de extrema importância para prever qual corante deverá ser utilizado e o método da aplicação mais adequado. A classificação dos corantes mediante a sua estrutura química divide-se em cromóforos e auxocromos, ambos responsáveis pela coloração e intensidade da cor, absorvendo radiação na luz visível em virtude de a estrutura dos anéis aromáticos possibilitarem a circulação de elétrons, facilitando a absorção. Será abordado a classificação pelo método de fixação nas fibras.

3.1.1.1 Corantes reativos

Os corantes reativos são caracterizados por terem alta solubilidade na água e na formação de ligações covalentes com as moléculas das fibras, ocasionando maior estabilidade na cor do tecido. O corante reativo em uma fibra celulósica faz ligação com os grupos hidroxilas, nas fibras proteicas, interagem com os grupos aminas e hidroxilas e nas fibras poliamidas faz ligação apenas com os grupos aminas. São muito usados para a coloração em algodão e se destacam por ser um grande problema no tratamento de efluentes por conta da sua toxicidade. (ZANONI, 2000)

Figura 1. Representação da molécula do corante reativo azul 4.

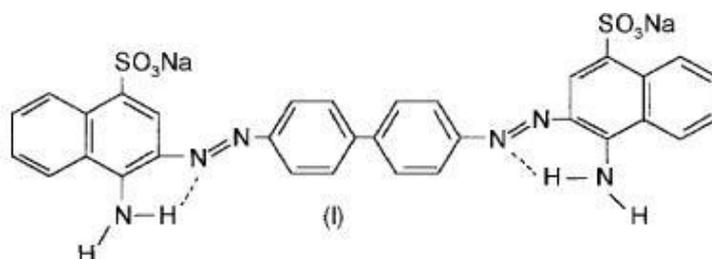


Fonte: <http://www.chemblink.com/products/12225-25-1.htm>.

3.1.1.2 Corantes diretos

Os corantes diretos são fixados nas fibras sem a necessidade de agentes químicos para um aumento na fixação. Esses grupos são solúveis em água e se impregnam no tecido através das interações de Van der Waals, porém apresentam baixa fixação na lavagem. Um ponto positivo desse corante é o fato dele ter um baixo descarte de resíduos nas águas, outra observação encontrada é a dupla ligação deles que aumentam a adsorção do corante na fibra. (ZANONI, 2000)

Figura 2. Representação da molécula do corante direto vermelho congo.



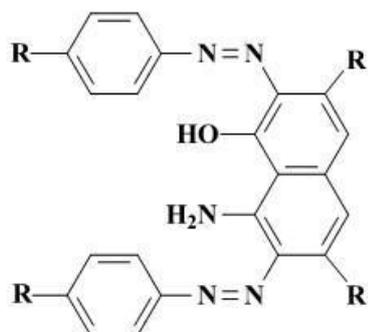
Fonte: <http://www.chemblink.com/products/12225-25-1.htm>.

3.1.1.3 Corantes azóicos

São considerados um dos melhores grupos de corantes na parte econômica, por não precisarem de máquinas específicas para o seu processo, tendo baixo custo para as indústrias e por apresentarem um brilho intenso no qual muitos corantes não possuem. Graças a alta quantidade de grupos azos e a posição que ocupam no anel aromático são compostos coloridos. Os grupos azos são ligados aos átomos de carbono de hibridização sp^2 . Esses corantes são resultantes de uma reação entre um composto solúvel na água fixado em uma fibra de celulose, em seguida adicionado o sal de diozônio produzindo um corante insolúvel na água, permitindo uma alta fixação e resistência contra luz e umidade. É importante ressaltar que é um dos corantes mais tóxicos para o meio ambiente e seu descarte nas águas resulta em sérias complicações devido a função azo, identificada pela presença de dois átomos de nitrogênio conectados por uma dupla ligação $-N=N-$ e solúveis em água. No ser humano, ao entrar em contato com a corrente sanguínea, são metabolizados pelas enzimas do fígado e de outros órgãos. Essa metabolização acarreta na quebra da molécula do corante,

gerando subprodutos tóxicos, como aminas, benzidinas e outros componentes que têm potencial para causarem câncer. (LEAL. 2011)

Figura 3. Representação da estrutura química de grupo cromóforos azo corantes.

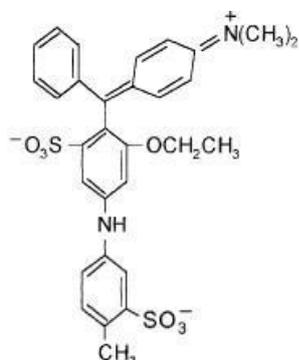


Fonte: (LEAL,2013)

3.1.1.4 Corantes ácidos e básicos

Os corantes ácidos correspondem a um enorme grupo de corantes aniônicos, que por serem ionizáveis são solúveis em água. A fixação dele na fibra ocorre da seguinte forma, o corante previamente neutralizado interage com a mesma através de uma troca iônica envolvendo o par de elétrons dos grupos aminas e carboxilas das fibras proteicas. São caracterizados por terem um alto rendimento de cor e também, são fixados em fibras como lã e seda. Os corantes básicos são compostos catiônicos, substâncias químicas solúveis na água e muito utilizadas para tingimento de materiais acrílicos. (ZANONI. 2000)

Figura 4. Representação da molécula do corante ácido violeta.



Fonte: <http://www.chemblink.com/products/12225-25-1.htm>.

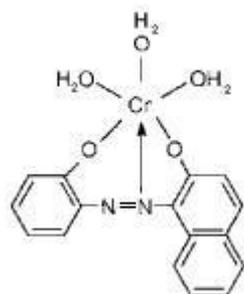
3.1.1.5 Corantes dispersivos

São categorizados em substâncias insolúveis na água, sofrendo hidrólise no processo de tingimento. No processo são utilizados agentes dispersantes que possuem longas cadeias, estabilizando a suspensão do corante que facilita o contato entre ele a fibra. A fixação desse resíduo é mais encontrada nas fibras de acetato, celulose, nylon e poliéster. Na fibra de poliéster a fixação do corante necessita de um ponto de ebulição acima de 100° C que favorece bons níveis de solidez aderindo cores intensas no tecido. (ZANONI, 2000)

3.1.1.6 Corantes pré-metálicos

Sua utilização é mais encontrada nas fibras proteicas e poliamidas, sendo evidenciado grupos de hidroxila e carboxila que permitem a formação de íons metálicos complexos. A interação entre o corante e a fibra se dá ao fato de os íons metálicos atraírem os pares de elétrons livres dos grupos, principalmente da fibra poliamida. Um problema da utilização desse corante é o risco que causa no ambiente pelo descarte de resíduos tóxicos na água. (ZANO NI, 2000)

Figura 5. Representação da molécula do corante pré- metálico.



Fonte: <http://www.chemblink.com/products/12225-25-1.htm>.

3.1.1.7 Corantes branqueadores

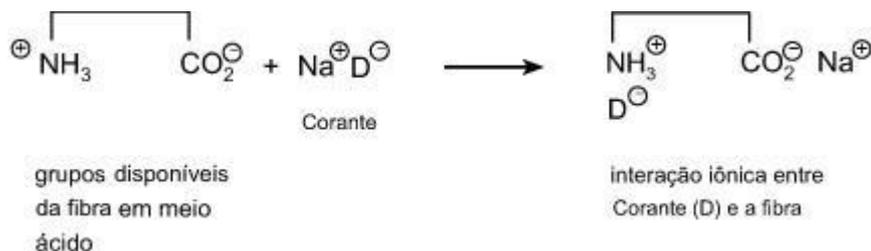
Esses corantes são utilizados quando as fibras têxteis possuem um tom amarelado ao estarem no seu estado bruto e serem compostas inicialmente por matéria orgânica. Há meios de reduzir essa tonalidade usando alvejante químico na oxidação da fibra ou um corante branqueador. Esse corante absorve os raios ultravioleta e os reflete ocasionando um fenômeno de fluorescência. (ZANONI, 2000)

3.1.2 Fixação do corante

A fixação do corante acontece por interações entre as moléculas do corante com os grupos das fibras em soluções aquosas. Assim, observa-se que quanto maior a interação entre o corante e a molécula, mais dificultosa será a quebra da ligação que por sua vez, aumenta o grau de fixação do corante no tecido. Pode envolver quatro tipos de ligações:

- a) Ligação iônica: Os grupos aminas e carboxilas situam-se em meio ácido, a molécula do corante se aproxima atraindo a carga positiva dos grupos da fibra pela carga iônica do corante (ou ao contrário). Esse tipo de interação ocorre em fibras de poliamida.

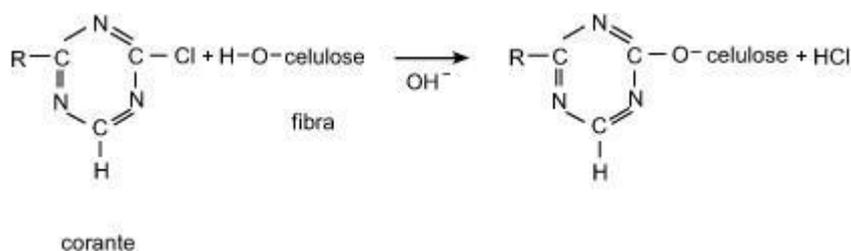
Figura 6. Interação iônica entre o corante e a fibra de lã.



- b) Interações de Van der Waals: Essa interação acontece em uma máxima de aproximação entre os orbitais do corante com as moléculas da fibra, de modo que os corantes se fixam nas fibras sem ter uma ligação direta. Essa atração é verificada no momento em que a molécula do corante apresenta uma estrutura linear ou longa podendo se aproximar ao máximo da fibra. Essa interação ocorre principalmente em fibras de lã e poliéster.

- c) Interações de hidrogênio: É proveniente da ligação entre átomos de hidrogênio ligados covalentemente aos corantes e pares de elétrons livres de átomos doadores em centros presentes na fibra. É encontrada na tintura de lã, seda e fibras sintéticas como celulose e acetato.
- d) Ligação covalente: Ocorre a formação de uma ligação covalente entre a molécula do corante contendo triazina com o grupo hidroxila presente na celulose da fibra de algodão. (ZANONI, 2000)

Figura 7. Interação covalente entre o corante e fibra celulose.



3.1.3 Agentes químicos auxiliares

No tratamento final do tingimento nos tecidos é utilizado vários produtos que conferem uma melhoria no tecido, fixando bem a tinta, realçando propriedades existentes ou aderindo produtos que possam evitar futuros acontecimentos, como as traças que corroem o tecido.

No tingimento dos tecidos, além dos corantes que visam tingi-los, são encontradas outras substâncias que ajudam na adsorção do corante nas fibras. Um banho de tingimento comum formula compostos químicos como: corantes, sequestrantes, fixadores, retardantes, carregadores e entre outros.

Os sequestrantes interferem nos íons que são responsáveis pela dureza de uma substância, eles interagem com os íons presentes no meio aquoso mantendo-os em solução para evitar a formação de sais orgânicos do corante sem deixar sobrevir uma precipitação.

Esses sequestrantes são prejudiciais a vida aquática sendo essencial um certo cuidado para não dispersar nas águas.

Os fixadores servem para a constituição de uma ponte entre a molécula do corante e a fibra, impregnando de uma tal forma que o corante não possa migrar para o meio externo. Os retardantes são substâncias que exercem a função de amenizar a tonalidade do corante para não os deixar sobrecarregados.

Um carregador é usado em banhos de tingimentos com o intuito de alcançar uma dispersão dos corantes sobre o poliéster aumentando a absorção. Após ser usado no tingimento do tecido, eles podem evaporar. Eles são prejudiciais ao meio ambiente por serem geralmente derivados de bifenilos policlorados.

Os ácidos mais utilizados são o ácido clorídrico e o ácido sulfúrico sendo os mais fortes na neutralização de tecidos tingidos em meio alcalino. A maior utilização do oxidante é no branqueamento do tecido que irá oxidar a fibra utilizando um alvejante químico.

A maioria dos auxiliares de tingimento utilizados nas indústrias têxteis são formulações à base de tensoativos. São substâncias constituídas por uma parte hidrofílica (polar) e uma parte hidrofóbica (apolar); estas substâncias têm a propriedade de reduzir a tensão superficial dos líquidos. (PERUZZO, 2003, p. 8)

Os agentes químicos são importantes na auxiliação dos corantes, provendo uma melhor qualidade aos tecidos, aumentando o grau de fixação, insolubilidade, absorção e entre outros. Porém, o uso dessas substâncias juntamente com o corante indaga um grande problema ambiental, acarretando o descarte desses resíduos nas águas agravando a situação. (PERUZZO, 2003)

3.1.4 Tratamentos para remoção

Os efluentes têxteis possuem peculiaridades próprias que influenciam em métodos específicos para sua eliminação em águas residuais. Os tratamentos são simples tratando-se de resíduos sólidos e químicos, porém, quando se defrontam com efluentes tóxicos, é necessárias técnicas de remoção mais complexas para abster a poluição. O que modifica o tratamento específico de cada substância é ao fato de alguns corantes terem alta intensidade na cor, agentes contaminantes e a presença de outras substâncias que as tornam devidamente tóxicas. Há processos químicos que visam diminuir a toxidade do corante por meio de reações usando uma substância capaz de reagir com o corante.

Os tratamentos físicos destinam-se na retenção dos corantes por meio de adsorventes, filtrações ou processos fotoquímicos que degradam os compostos tóxicos. Encontram-se vários métodos aplicáveis na remoção desses efluentes, como o reagente de fenton, que é usado no tratamento da água residual por quebrar compostos orgânicos, o percloetileno, que é usado em produtos de limpeza. Outro método químico empregado é por ozonização que é caracterizado por ter um alto nível oxidante, destruindo hidrocarbonetos, coagulando e precipitando compostos orgânicos como, por exemplo, o rompimento das duplas ligações dos grupos cromóforos pelo ozônio. Por este motivo é muito utilizado na remoção de substâncias nocivas ao ambiente, sendo aplicado na água que reage com a substância contaminante gerando moléculas precipitadas. Processos fotoquímicos também são utilizados, degradando compostos tóxicos. (PERUZZO, 2003)

Os procedimentos biológicos utilizam bactérias que oxidam em condições aeróbias e anaeróbias. O emprego de microrganismos promove uma redução na coloração ou até mesmo a remoção total da cor, fundamentando-se na oxidação por ação enzimática de microrganismos através de processos bioquímicos que transformam compostos orgânicos tóxicos em dióxido de carbono, água ou metano. Os fungos têm se mostrado eficientes para o tratamento de águas residuais têxteis por apresentarem uma grande capacidade de romperem moléculas do corante por meio de enzimas, descolorindo efluentes industriais. A biossorção é um mecanismo dos fungos para a remoção dos corantes, tanto os fungos, como bactérias e algas, possuem a propensão de servirem como material adsorvente. Isso se dá ao fato de o fungo desenvolver ótimas características que aumentam o poder de biossorção como a elevação de reprodução, síntese de biomassa e a manipulação genética. Apesar de ser um método de alto custo, dispõem excelentes resultados em suas aplicações. (PEIXOTO, 2013)

É importante salientar que, a adequação de qualquer um dos métodos de tratamento escolhido para degradação do corante será muito mais efetivo, mais fácil e mais barato se realizado na estação de tratamento da indústria, isto é, antes de atingir os mananciais. (ZANONI, 1999, p.75)

Desde modo, o cuidado com o descarte de rejeitos tóxicos nos fluidos é de extrema seriedade, sendo conseqüente de interferir na absorção de luz dos vegetais no ambiente aquático provocando o aniquilamento de muitas espécies e contribuindo para a contaminação das águas afetando o uso público.

3.1.5 Impactos no ecossistema

É de devido conhecimento os impactos provocados pela iminência do descarte de efluentes têxteis nas águas, causando uma série de complicações vivenciadas atualmente. Os corantes por apresentarem características como: alta intensidade de cor, solubilidade na água e toxicidade; geram um problema ambiental, tanto para a vida aquática como para os seres humanos. (ZANONI, 2000)

A ação do corante pelos seres humanos causa preocupações alarmantes por serem responsáveis pela formação de aminas, benzidinas e outros compostos com o potencial carcinogênico. Os corantes insolúveis em água, ao serem ingeridos pelo ser humano são transportados para o intestino sofrendo a ação bacteriana floral o que não ocasiona biocumulação. Já os solúveis são excretados mais facilmente, são metabolizados na microflora intestinal. A grande preocupação está nos grupos dos corantes que possuem a função azo-aromático como cromóforo pela formação de benzidinas catalogados como cancerígenos. (ZANONI, 2000)

Os efluentes têxteis passam por uma série de processos. Nestes processos há uso de outras substâncias com os corantes aumentando o grau de risco, não sendo tratados antes de serem lançados em águas naturais que trazem preocupações ecológicas. A solubilidade do corante influencia muito nos impactos, sendo visível o desprendimento do corante no tecido ao ser lavado, não encontrando apenas resíduos do corante, mas sim, outras substâncias que servem como auxiliadoras na fixação da cor sendo elas, nocivas.

O corante diminui a transparência da água dificultando a passagem de luz solar que inibe o processo fotossintético realizado pelas algas, afetando os seres vivos que dependem dela direta e indiretamente. Esses efluentes têxteis demoram para se degradarem, levando em média cinquenta anos para seu desaparecimento.

O lançamento nos rios de corantes que possuem metais pesados, como cobalto, níquel e cobre, também são um grande problema para o meio ambiente e para a saúde humana. Se esses efluentes penetrarem no lençol freático ou o agricultor utilizar a água contaminada para irrigar as plantações, os problemas relacionados podem ser muitos, como a contaminação de pessoas pela ingestão dos alimentos irrigados, contaminação pela ingestão dessa água e morte de espécies da fauna e da flora local.

Alguns corantes de alto poder de fixação, usados para tingir peças de algodão ou seda, também podem ser nocivos aos seres vivos. Durante a etapa de tintura da fibra, alguns corantes, como os pré-metalizados, chegam a liberar substâncias tóxicas altas concentrações de metais pesados. Outros podem ser acumulados por plantas expostas a efluentes da indústria têxtil e conseqüentemente passar para a cadeia alimentar, contaminando outros organismos. (CIÊNCIA HOJE, 2001, p.71)

Os riscos causados ao ambiente aquático e a população, sem o devido cuidado desses efluentes têxteis, acarretarão sérios problemas se não forem tomadas medidas drásticas que influenciem a inibição desses corantes nocivos nas águas.

4. HIDRÓXIDO DUPLO LAMELAR

O HDL designa-se do termo argila aniônica, um termo muito utilizado para caracterizar estruturas lamelares contendo cátions nas lamelas e ânions juntamente com a água em seu domínio interlamelar.

Os minerais da família da argila aniônica são estudados desde 1842 usando a hidrotalcita como referência de um mineral natural, por conter em suas lamelas hidróxido duplo de magnésio e alumínio, e no seu espaço interlamelar os íons carbonatos. Os estudos do hidróxido duplo lamelar iniciaram-se com a síntese pela reação precipitada de sais metálicos com base, compondo-se de cátions divalentes e trivalentes em lamelas opostas com os íons no domínio interlamelar. Estudos prosseguiram e identificaram que os cátions se encontravam juntos nas lamelas, através de análises de difração de raio-X. (CREPALDI; VALIM, 1998)

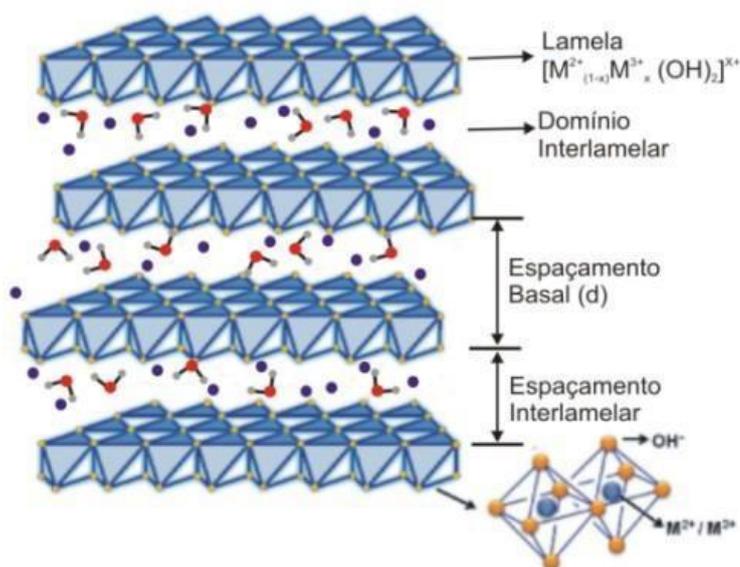
A síntese do hidróxido duplo lamelar iniciou nos primeiros estudos do mineral hidrotalcita, com a formação da maceração de um pó branco produziu-se o composto contendo duas lamelas. Com a reação de sais metálicos em uma solução aquosa alcalina precipitada, sintetizou o hidróxido duplo lamelar com uma estrutura semelhante à brucita, cátions de magnésio localizados no centro de um octaedro e às vértices com o ânion hidroxila, apresentando ligação de hidrogênio e forças de Van der Waals para mantê-las unidas. (CREPALDI; VALIM, 1998)

Alguns hidróxidos duplos lamelares são parte ou precursores de uma família mais geral de compostos, designados como estruturas lamelares pilarizadas, PLS (do inglês: "pillaredlayeredstructures"). PLS apresentam nanoestruturas constituídas

pela ligação química de moléculas ou colóides em um “hospedeiro” lamelar (CREPALDI; VALIM, 1998, p. 300)

Após alguns anos foi estudado a estrutura dos hidróxidos duplos lamelares (Figura. 2) tendo como principal modelo a hidrotalcita que contém dois tipos de estruturas, um sistema romboédrico e um sistema hexagonal.

Figura 8. Representação esquemática de um hidróxido duplo lamelar



Fonte: (COSTA, 2014)

Para estabilizar as lamelas é necessária a constituição de um espaço interlamelar com ânions em seu domínio, essa composição juntamente com água designa um domínio quase líquido por caracterizar um estado desordenado pelas propriedades elétricas e o estado de hidratação que influenciam nisto. Além da água encontrada no domínio interlamelar, o composto pode absorver a umidade do ar adsorvendo a água. Os ânions podem ser haletos, oxo-ânions, ânions complexos, polioxo-metaletos e ânions orgânicos. “Na preparação de HDLs um fator de grande importância é a capacidade de estabilização da estrutura lamelar pelo ânion intersticial. Quanto maior a capacidade de estabilização mais facilmente o HDL se formará. ” (CREPALDI; VALIM, 1998, p. 303). Para ter-se uma maior estabilização é de grande importância as interações eletrostáticas e separação entre ânions monovalentes e divalentes, por conta dos ânions divalentes exibirem uma alta estabilização como, por exemplo, o carbonato.

Os cátions metálicos estão localizados nas lamelas contendo cátions divalentes como o magnésio e cátions trivalentes como o alumínio. Há uma razão entre cátions divalentes e trivalentes que denotam características importantes ao composto. O ideal da razão é entre um e oito, valores abaixo de um implicam nas trocas iônicas dificultando-as, já valores maiores que oito diminuindo a cristalinidade da estrutura. A cristalinidade é uma característica dos polímeros, quanto mais a estrutura do polímero for homogênea, mais cristalino o polímero tende a ser. A cristalinidade tem consequências nas propriedades dos polímeros. Quanto mais cristalino for o polímero mais denso e resistente ele é, e menor é a sua dureza, devido ao empacotamento das macromoléculas que se verifica nestas zonas.

Na remoção de corantes através do hidróxido duplo lamelar é importante que o hidróxido tenha a sua estrutura a mais cristalina possível, pois assim a interação entre o HDL e o corante fica maior, possibilitando uma maior remoção do corante. (CREPALDI; VALIM, 1998)

4.1 Propriedades

Os hidróxidos duplos lamelares possuem características de extrema importância como estabilidade térmica, troca iônica, área superficial, porosidade e eletroquímica.

A estabilidade térmica, capaz de decompor os compostos por meio de faixas de temperaturas que são totalizadas em três faixas. A primeira faixa tem duas subdivisões, sendo a primeira a perda de água que o composto absorve da umidade utilizando-se uma temperatura até 100° C, e a segunda, a perda de água que o composto já contém em seu domínio interlamelar entre 100° C e 200°C. A segunda faixa está relacionada à decomposição do ânion hidroxila em uma faixa de 200°C até 500°C e sua última faixa entre 500°C á 700°C, visando à formação de óxidos que apresentam potencial na área da catálise devido às suas propriedades básicas. (REIS, 2009)

A troca iônica é caracterizada pelas fracas interações entre o ânion e a lamela que possibilitam a facilidade de troca iônica obtendo-se novos compostos. A capacidade de um composto substituir um ânion é preciso conhecimento no ânion que será substituído e o ânion que será intercalado por meio de um precursor. Na troca iônica é utilizado um precursor de solução concentrada como o cloreto, já em meio ácido é empregado o carbonato por dispor um pH elevado, para não destruir a lamela hidroxilada. (REIS, 2009)

A eletroquímica é empregada na utilização de cátions eletroativos como os metais de transição ou ânions eletroativos, ambos podendo ser favoráveis na otimização de transferência das cargas. Em relação aos ânions eletroativos eles apresentam mobilidade no domínio interlamelar devido a condutividade elétrica, com exceção da hidroxila que apresentam condutividade pelo transporte de prótons, os demais ânions são conduzidos devido a sua própria mobilidade. Os ânions carbonato e fluoreto exibem baixa condutividade em consequência das fortes interações com as lamelas, já o ânion nitrato denota baixa condutividade devido a sua geometria, que por ser esférica, ocupa o espaço interlamelar não podendo se mobilizar. (REIS, 2009)

A área superficial tem grande influência em processos de adsorção e catalisação sendo de vasta importância. Alguns fatores de síntese interferem na área superficial como tratamento hidrotérmico, velocidade da adição e concentração das soluções que afetam a coagulação modificando a porosidade das partículas formadas. (REIS, 2009)

Os valores de área superficial específica, encontrados na literatura para os HDLs normalmente estão em uma faixa de 50 a 80 m²/g. Raramente se encontram valores superiores a 80 m²/g. Entretanto, Reichle² preparou HDLs do sistema [Mg-AlCO₃] com tratamento hidrotérmico em várias temperaturas diferentes (entre 65 oC e 300 oC), obtendo uma área superficial específica de 200 m² [...] (CREPALDI; VALIM, 1998, p. 300)

A porosidade de um material tem grande influência em propriedades físicas como densidade, condutividade térmica e resistência mecânica com alto desenvolvimento na capacidade de adsorção prevendo uma economia da matéria prima e energia. (REIS, 2009)

4.2 Métodos para a síntese

Serão abordados alguns métodos para a síntese do Hidróxido Duplo Lamelar destacando aspectos importantes da síntese e sua viabilidade para o uso na remoção do corante.

4.2.1 Coprecipitação

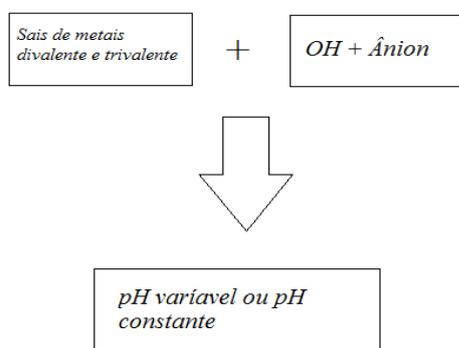
Este método consiste no emprego de uma solução contendo sais de metais divalente e trivalente sob uma solução envolvendo o hidróxido e o ânion a ser intercalado. Esse processo pode ocorrer de duas formas, uma sendo a pH variável e a outra a pH constante.

O processo com pH variável necessita de condições que impliquem no meio como: agitação da solução, velocidade da adição, pH final após a mistura das soluções e temperatura relativamente baixa para evitar a formação de uma fase com precipitação do hidróxido. Para obter a cristalização do material, é posto a temperaturas baixas seguidas de um tratamento hidrotérmico. A desvantagem ao ser utilizado pH variável consiste na tendência do metal trivalente precipitar em pH mais baixo que o metal divalente, não atingindo a pureza do material.

O método a pH constante consiste na simultaneidade das duas soluções com a adição do hidróxido de sódio ou potássio até atingir um pH ótimo para manter-se constante. Esse método apresenta resultados satisfatório dispendo a pureza do material e uma boa cristalinidade. A única exceção é no uso do ânion carbonato que em concentrações a pH baixo é convertido em bicarbonato e a pH alto forma-se sais insolúveis de metal divalente.

De maneira geral, o efeito que abrange as maiores qualidades ao material é no emprego da coprecipitação a pH constante que salienta homogeneidade para cristalização do material. (CREPALDI; VALIM, 1998)

Figura 9. Esquema da síntese de coprecipitação.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

4.2.2 Sal-óxido

Esse método consiste na suspensão do óxido de um metal divalente reagindo com uma solução contendo o metal trivalente com o ânion a ser intercalado. Para que ocorra essa reação leva-se em conta dois fatores.

O primeiro fator diz respeito à hidrólise lenta que deve advir da reação entre o óxido do metal divalente com o metal trivalente, ou seja, não reagir com a água rapidamente sendo necessário o pH levemente ácido.

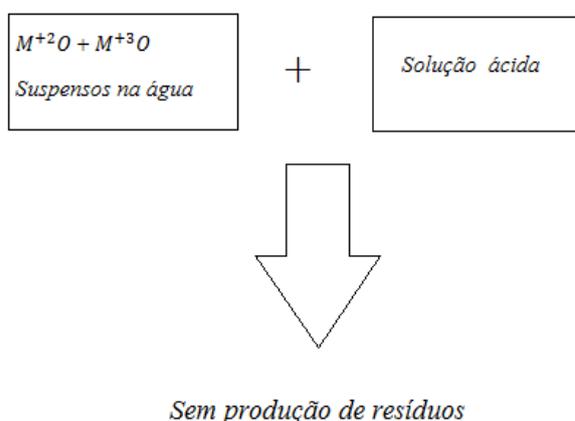
O outro fator refere-se na formação de um sal solúvel através da reação de um metal trivalente com o ânion intercalado, carecendo da estabilidade em meio ácido. (CREPALDI; VALIM, 1998)

4.2.3 Síntese hidrotérmica

Visam à suspensão de metais óxidos em água, ambos sendo divalente ou trivalente com a adição de uma solução ácida com a intenção de intercalar-se. Essa síntese denota uma vantagem inerente por não gerar sais, evitando a produção de resíduos exibindo hidróxidos duplos lamelares livres de sódio, cloreto e entre outros. Deve-se realizar o método perante a temperatura elevada e alta pressão.

Por apresentar uma vantagem contribuinte para o material e sendo eficaz nos resultados, não se usa muito este procedimento por possuir uma gama de métodos com os mesmos resultados, porém mais simples. (CREPALDI; VALIM, 1998)

Figura 10. Esquema da síntese hidrotérmica.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

4.2.4 Síntese de hidrólise induzida

Esse método foi estudado por Taylor, que realizou a reação entre o hidróxido de um metal trivalente com uma solução de metal divalente e o ânion a ser intercalado, consistindo em uma precipitação.

Ao comparar com os outros métodos é visto que exibem uma baixa cristalinidade, porém, uma vantagem encontrada é a redução do tempo necessário na formação de um hidróxido duplo lamelar. (CREPALDI; VALIM, 1998)

4.2.5 Síntese indireta

Os ânions estão localizados no domínio interlamelar com camadas positivas aprisionando-os sob uma atração eletrostática que favorece a troca de íons. Exige uma série de fatores que contribuem para a troca iônica como a geometria, densidade da carga e capacidade de estabilização das lamelas que o ânion substituinte deve exercer. Essa troca tem influência em novos materiais com características aprimoradas.

A troca iônica pode ocorrer por meio de uma solução concentrada contendo o ânion que será intercalado. É analisado a densidade da carga do ânion, quando maior a densidade maior será a atração eletrostática com as lamelas favorecendo tendência para a substituição. O intermediário mais utilizado para esse processo é o cloreto.

A troca iônica em meio ácido usa-se precursores como, carbonato ou tereftalato que possuem pH elevados suficientes para não destruir a lamela hidroxila. Quando o carbonato for o ânion a ser substituído, será eliminado do meio como dióxido de carbono. A desvantagem dessa troca em meio ácido é por provocar a destruição parcial das lamelas, embora não seja tão significativa. Os ânions orgânicos podem ser intercalados desde que sejam estáveis em meio ácido.

A troca iônica por regeneração de um precursor calcinado depende do precursor carbonato e a temperatura da calcificação. O uso do carbonato deve-se ao fato de decompor-se em baixas temperaturas e do seu gás resultante não oxidar quando comparado a outros íons. A calcificação deve ser realizada em uma temperatura que possa decompor o ânion

interlamelar e decompor parcialmente as hidroxilas para que ao ser colocado em uma solução aquosa regenere. O cuidado com a elevação do pH deve ser analisado para que não ocorra a intercalação de ânions hidroxila e evitar o contato com o ar, por conta da regeneração do carbonato devido à presença de dióxido de carbono. (CREPALDI; VALIM, 1998)

4.3 Fatores para a síntese

Para uma melhor síntese do hidróxido duplo lamelar encontra-se parâmetros que ajudam na melhor formação possível.

Há aspectos relacionados aos cátions que possibilitam a formação do hidróxido duplo lamelar, como o raio iônico, energia reticular, número de coordenação e tamanho da esfera de coordenação. O raio iônico dos cátions não deve ser muito diferente, pois impossibilitará a formação do hidróxido duplo e sim, formará um hidróxido simples. Geralmente, os cátions possuem o raio iônico entre 0,5 e 0,74 Å. O número de coordenação deve ser o mesmo para ambos e também é necessário que o tamanho dos cátions e seus ligantes sejam respectivamente próximos um do outro juntamente com a energia reticular. (RODRIGUES, 2007)

Na velocidade de adição não há estudos específicos que descrevem esse fator bem abrangente. Sabe-se que é um dos fatores de grande influência nos métodos de coprecipitação e sal-óxido, obtendo um alto grau de cristalinidade devido a uma adição lenta com uma forte agitação. (RODRIGUES, 2007)

O tratamento hidrotérmico é um fator empregado para a obtenção de maior cristalinidade ao material após o método de coprecipitação. Usa-se um reator controlando a temperatura e a pressão que são elevadas. O tratamento hidrotérmico alcança uma cristalinidade a 200°C. (RODRIGUES, 2007)

4.4 Aplicação na remoção de efluentes têxteis

As empresas têxteis têm grande destaque no mercado mundial por sua alta produtividade e inovações, alcançando grandes níveis de importações e exportações pela gama de variedades. A sociedade em si preza pela qualidade e modelo de vestuários, porém o modo do procedimento e os problemas gerados são invisíveis quando se trata de lucros que

essas empresas geram. Dentro da empresa, vários métodos são empregados na confecção dos tecidos, como a fixação do corante por meio do banho de tingimento.

Os corantes usados no tingimento de tecidos são descartados nas águas, provendo consequências ao ambiente como o aniquilamento de espécies aquáticas e a inibição da fotossíntese por algas, que de acordo com os pesquisadores, a maior produção de oxigênio vem dos planctos encontrados nas águas.

Diante dos problemas enfrentados, várias pesquisas foram realizadas para se obter uma maneira de remover esses compostos orgânicos que trazem grandes impactos. Um dos métodos que apresentam resultados satisfatórios é o uso do carvão ativado, que por ser um adsorvente, é capaz de remover o corante, porém o uso do mesmo tem se tornado pouco eficiente ao se tratar de corantes com intensa coloração, levando a altos custos e a incapacidade de reutilização.

As argilas aniônicas possuem uma gama de propriedades que se aplicam como métodos para a remoção de efluentes têxteis. Devido a presença de ânions interlamelares e os ânions presentes nos compostos orgânicos procede-se a troca iônica. (RODRIGUES, 2007)

A sorção pode ser realizada pelo processo de reconstrução, partindo de um HDL calcinado em meio aquoso, com os ânions sorvidos ocupando os espaços interlamelares, enquanto a adsorção ocorre apenas na superfície do HDL, principalmente por interação eletrostática dos ânions com as cargas superficiais do adsorvente (REIS, 2009, p. 16)

A elevada área superficial nos hidróxidos duplos lamelares torna-os excelentes adsorventes. O corante sendo um fluido associa-se ao hidróxido duplo lamelar, ambos contêm ânions, realizando a troca iônica que favorece a decomposição dos componentes do corante. A adsorção pode ser química ou física. (RODRIGUES, 2007)

A adsorção física é decorrente das fracas interações entre o adsorvente e o adsorvato, conhecida como interação de Van der Waals. A substância adsorvida não penetra no hidróxido duplo lamelar que não se dissolve em sua estrutura, apenas fica sob a superfície. (RODRIGUES, 2007)

A adsorção química comparada a adsorção física, apresenta maiores forças de interação entre o corante e o hidróxido duplo lamelar, onde a substância adsorvida se liga com a molécula da superfície do adsorvente constituindo uma camada de moléculas adsorvidas. (RODRIGUES, 2007)

As argilas aniônicas são adsorventes eficientes para remover várias espécies orgânicas coloridas de soluções aquosas, especialmente na remoção de espécies aniônicas. O uso de HDLs calcinados como adsorventes têm despertado interesse devido a sua alta capacidade de retenção aniônica e o procedimento simples de regeneração térmica. (RODRIGUES, 2007, p. 23)

A vantagem do uso das argilas aniônicas como adsorventes na remoção de efluentes têxteis tem grande destaque no fato de regenerar-se e ser reutilizada, conhecido como efeito memória. Ao adsorver o corante na sua superfície, acaba sendo constituído por poluentes necessitando da remoção da substância adsorvida e a regeneração do adsorvente. O hidróxido duplo lamelar apresenta essa propriedade, ocorrendo da seguinte forma: o composto com o ânion carbonato no domínio interlamelar é eliminado por conta da temperatura ideal para este processo e depois é posto em água. A calcinação fornece como produto óxidos mistos que são reidratados recuperando sua estrutura original e intercalando ânions para manter a neutralidade. Ao serem postos na água permite a intercalação do ânion hidroxila na estrutura. De forma geral, o hidróxido duplo lamelar com o poluente na superfície sofre decomposição térmica decorrente de uma calcinação com formação de óxidos mistos e eliminação do íon carbonato, esses óxidos regeneram o composto e por último a adição de água no produto final. (RODRIGUES, 2007)

Sendo assim, o hidróxido duplo lamelar tem se mostrado um método eficiente na remoção dos corantes das águas por sua capacidade de adsorver, realizar troca iônica e o efeito memória que pressuponham em resultados satisfatórios. (RODRIGUES, 2007)

5. METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido com base na aplicação de novas técnicas que promovam a remoção dos corantes têxteis dos efluentes, com a utilização de Hidróxido Duplo Lamelar (HDL). A realização do projeto constitui em avaliar a capacidade de adsorventes inorgânicos nanoporosos com a utilização de um sistema de batelada em reatores agitados.

Para que possa ser realizado, foi feita síntese dos HDLs a partir de cloretos de magnésio e alumínio, utilizando o método de coprecipitação, que consiste em uma solução contendo os sais de metal divalente e trivalente, cloreto de magnésio e de alumínio

respectivamente, sob uma solução envolvendo o hidróxido de amônia e um ânion a ser intercalado, no caso foi o cloro. O procedimento consiste na adição dos sais divalente e trivalente sob uma solução aquosa submetida a uma temperatura, em agitação durante um tempo determinado com aplicação de um composto que precipite a solução. Após isso, é sujeito a centrifugação para precipitar. O término do procedimento consiste em deixar algumas horas na estufa, logo em seguida na maceração do produto. É utilizado a difração de raio-X para analisar a estrutura cristalina do composto.

Neste projeto foi realizado a síntese com duas variações de tempo sob agitação. Os tempos de agitação realizado foram quinze minutos e seis horas, em cada uma sendo aplicada uma temperatura ambiente e outra a temperatura de 60°C.

Primeiramente foi realizada a separação dos matérias e organização da bancada. Em seguida, foi utilizado o vidro de relógio para a pesagem dos sais (cloreto de magnésio e alumínio vetec p.a.) na balança analítica procurando obter um valor bem aproximado da massa estipulada. Para a síntese em temperatura ambiente, foram colocados em um béquer, 100 mL de água destilada no agitador e logo em seguida, foram postos os dois sais simultaneamente, colocando 10 mL do hidróxido de amônia a 10% para uma melhor precipitação. Para a síntese de 60°C, primeiramente foram aquecidos 100 mL de água destilada até obter a temperatura desejada, depois foram adicionados os sais simultaneamente, sendo aplicados 10 mL do hidróxido de amônio a 10% colocando sob agitação. Ao retirar do agitador magnético, a solução é colocada nos tubos para centrifugar a uma agitação de 3000 rpm por cinco minutos, repetindo esse processo cerca de cinco vezes, e colocando água destilada ao término. Após centrifugar, foi colocado no cadinho e na estufa por 18 horas a 50°C. Ao final desse processo, foi feito a maceração do hidróxido duplo lamelar formado usando o cadinho e pistilo para o processo.

Foram realizados ensaios de caracterização do HDL por difração de raio X utilizando-se um difratômetro Shimadzu modelo XRD-6000. As medidas foram realizadas a uma velocidade de varredura de 2°/min, tensão de 40KV, corrente de 30 mA e radiação $\text{CuK}\alpha 1$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$). As medidas de espectroscopia UV-Visível UV-1800 Shimadzu, na região do infravermelho (FTIR). As amostras foram preparadas com pastilhas de KBr (1% de brucita em peso), acumulação de 16 medidas e resolução 2 cm^{-1} . A definição do tempo ideal foi feita adicionando-se uma mesma quantidade de HDL 20 mg/L em uma solução de 50 mg/L de corante, alíquotas de 5 ml foram retiradas a cada 30 minutos para a análise do teor

de íons ainda presentes na solução. Com o tempo definido, foi variada a massa de HDL de 10 mg a 50 mg, para a definição da melhor massa. Os ensaios foram realizados em triplicata e o valor médio das medidas foi utilizado. Os teores dos respectivos ânions foram determinados por UV/Vis com um comprimento de onda 650 nm e com o pH em torno de 8 a 10. O corante utilizado foi o azul de metileno cuja fórmula molecular é $C_{16}H_{18}N_3SCl$ e a fórmula estrutural é:

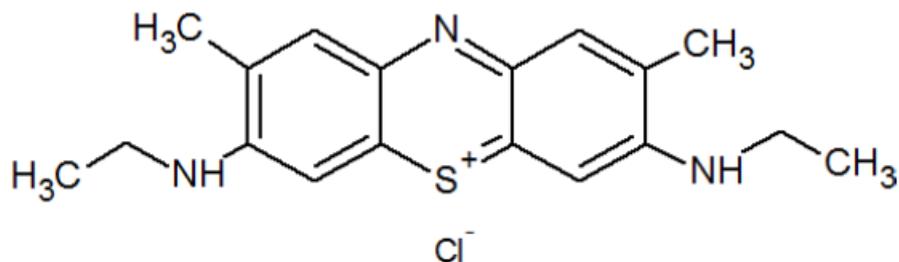


Figura 11- Estrutura do corante catônico do Azul de Metileno

Na identificação da cristalinidade e da área superficial foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura de emissão de elétrons.

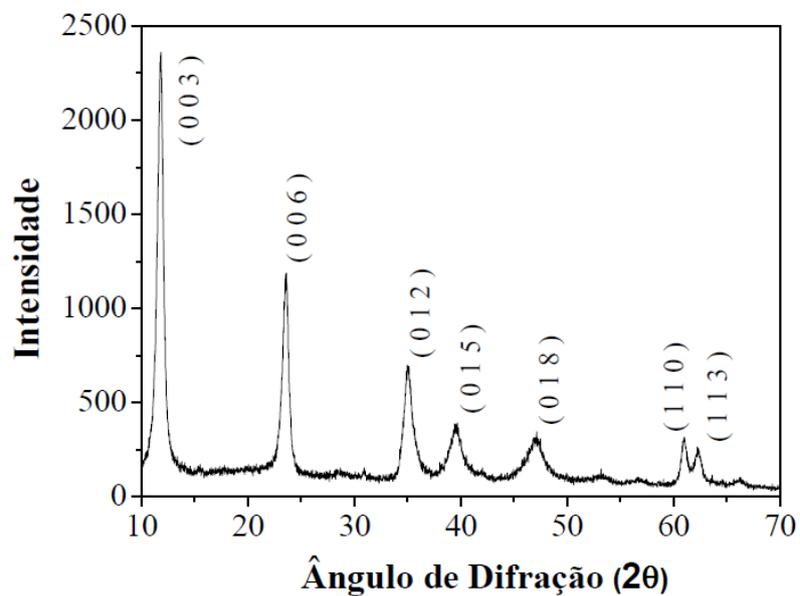
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Caracterização do HDL

6.1.1 Difração de raio X

A presença do HDL na amostra foi confirmada através de dados da literatura (JCPDC-ficha 44- 1482).

Figura-12 – Difratoograma do HDL

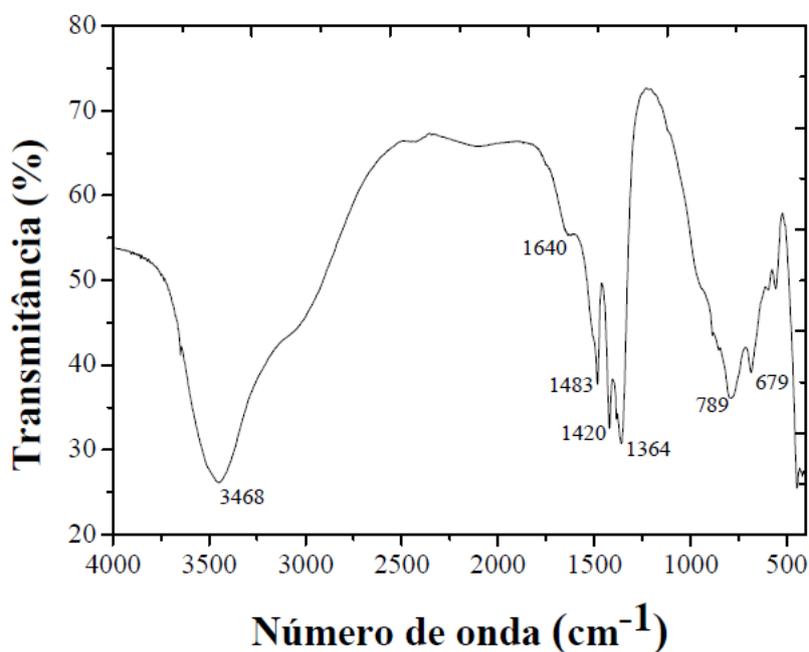


A análise mostra um difratograma típico do HDL. Verifica-se os picos de difração referente aos planos (003), (012), (015), (018), (110) e (112) característicos de materiais hidrocalcíticos, o que indica que o método de obtenção dos HDLs gerou a estrutura desejada

6.1.2 Espectroscopia na região do Infravermelho

Esta técnica é muito útil para complementar os métodos de caracterização para compostos argilosos

Figura-13 – Espectro de Infravermelho



O espectro apresenta uma banda de absorção em 3400cm^{-1} , que é o estiramento da ligação O-H de moléculas de água que estão no espaço interlamelar, em 1640 cm^{-1} é atribuída a deformação das moléculas de água interlamelares. As bandas 1364 , 1420 e 1483 cm^{-1} são relativas ao carbonato intercalado, as bandas características da ligação oxigênio-metal-oxigênio tem um comprimento de onda menor que 1000 cm^{-1} . Os picos entre 800 e 500 cm^{-1} correspondem ao estiramento das ligações entre magnésio-oxigênio e alumínio-oxigênio, bem característico de materiais argilosos

6.1.3-Microscopia eletrônica de varredura dos HDLs-Ampliação de 10.000 vezes

Figura 14- HDL –T.A. com precipitação imediata

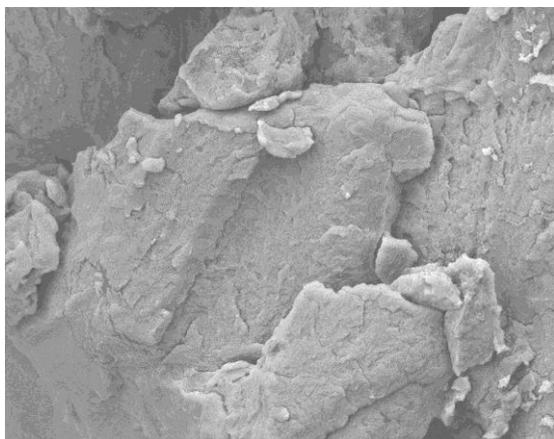
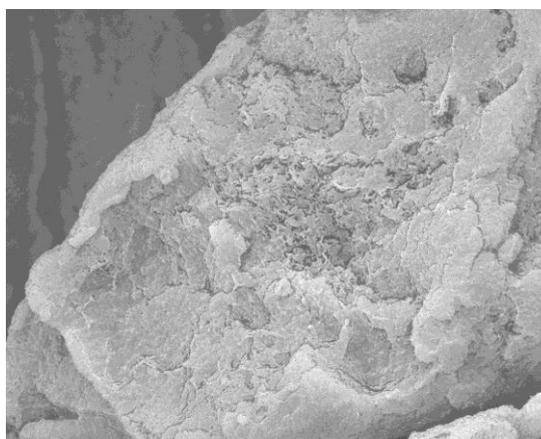


Figura 15-.HDL – 60°C com precipitação imediata



Na microscopia eletrônica de varredura realizada no HDL, com precipitação imediata a temperatura ambiente, o composto obteve pouca cristalinidade e pouca área superficial. Porém, à medida que foi elevando a temperatura do HDL para 60°C, ocorreu um aumento na cristalinidade e na área superficial.

Figura 16- HDL –T.A. com 6 horas de agitação

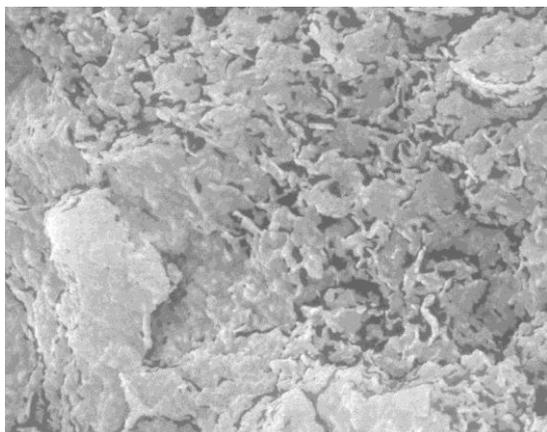
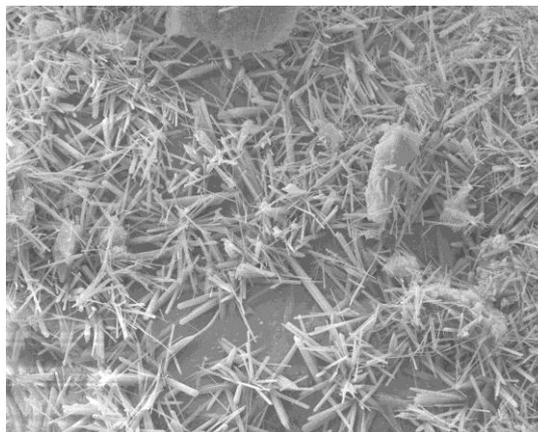


Figura 17-.HDL – 60°C com 6 horas de agitação

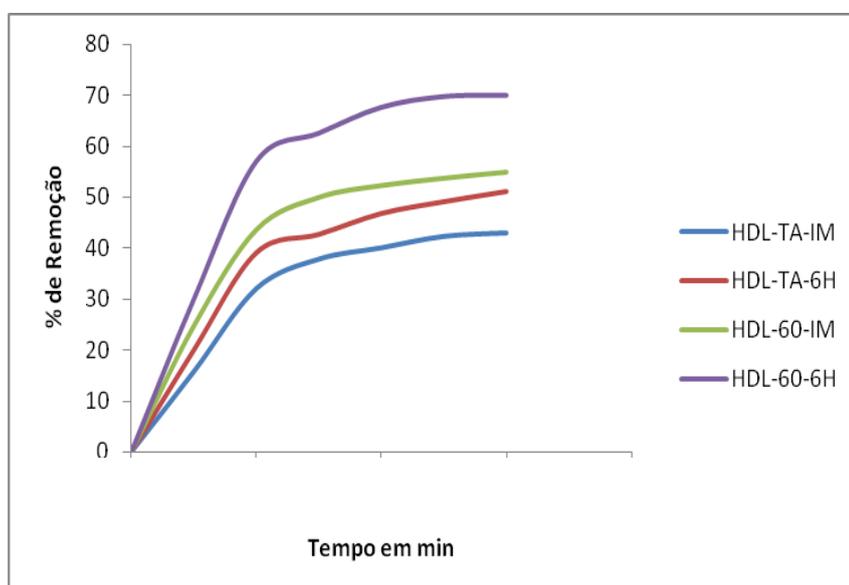


Na microscopia eletrônica de varredura realizada nos HDLs com precipitação imediata e com 6 horas de agitação, observou que, tanto a temperatura ambiente como a 60°C, foi evidenciado que quanto maior o tempo de agitação e temperatura de precipitação, maior é a sua área superficial e cristalinidade.

A comprovação da cristalinidade dos HDLs, é observada em função dos cristais finos, analisados nas microscopias eletrônica de varredura dos HDLs, e pela quantidade desses cristais finos é possível evidenciar a área superficial.

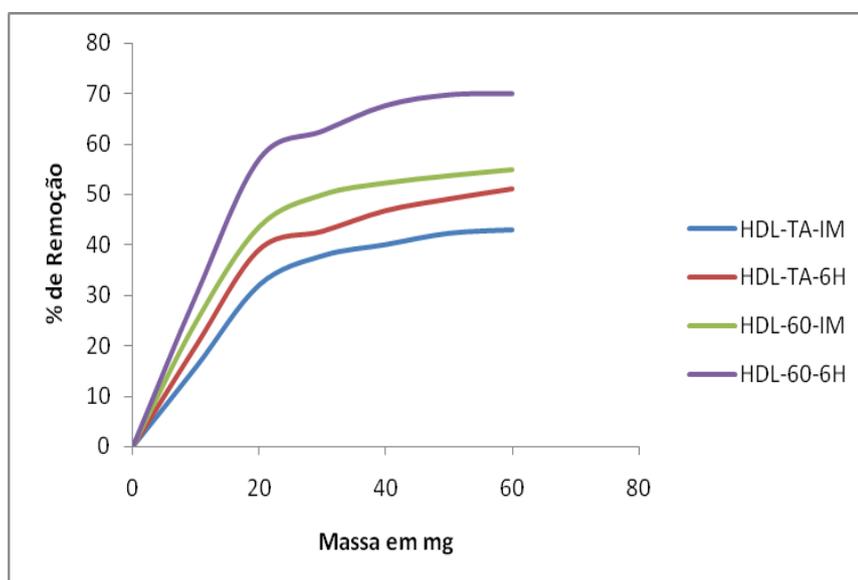
6.1.4 – Curva de adsorção para determinação do melhor tempo de remoção

Foi escolhida uma massa 20 mg/L de HDL aleatoriamente para a deteminação do melhor tempo de contato com o material adsorvente.



Pode-se concluir que o melhor tempo do adsorvente em contato com a solução para a remoção do corante é em torno de quatro horas, acima deste tempo a remoção é quase insignificante.

6.1.5 – Curva de adsorção para determinação da melhor massa de HDL



A melhor massa para remoção do corante foi em torno 40mg, acima deste valor a remoção não é significativa.

Pode-se concluir que o melhor tempo de remoção é de 4 h associado a uma massa de 50mg do HDL produzido a 60^o C e seis horas de agitação, pois o mesmo apresenta uma maior cristalinidade e área de contato para a remoção do corante.

Na literatura encontrada, houve a síntese da argila calcinada Ni-Fe para remoção do corante reativo azul direto 53 com adsorção de 70% nos primeiros minutos (Saiah et al. 2008). Na literatura de Namasivayam; Sumithra (2005) usou-se o HDL Fe (III) Cr (II) na remoção do azul de metileno apresentando uma capacidade de adsorção de 23.mg.^{g⁻¹g⁻¹}. Na adsorção do ácido azul 29 apresentou uma remoção de 99% em um tempo de uma hora.

Na literatura de Aguiar E.J (2012) foi sintetizado o HDL com uma solução aquosa de 0,0996 mol/L de Mg(^{NO3})₂.^{NO3})₂.6H₂O e 0,0332 mol/L Al(^{NO3})₃.^{9H2O} (^{NO3})₃.^{9H2O}, acrescentando 100 mL de uma solução aquosa contendo 0,249 mol/L de NaHCO₃ a 60°C. Sob agitação e depois posto na centrifuga. Após isso, foi colocado na estufa a 80°C por 96 horas. Na remoção do corante pelo HDL foi usado o corante azul de metileno e RP5, com 20 mL da solução do corante, concentração de 100ppm e a massa do HDL de 0,015 g. Foi posto em frascos com capacidade de 50 mL passando por uma agitação de 20 rpm em um sistema rotatório orbital. O pH foi ajustado para 9 com adição de NaOH. A

solução foi coletada após centrifugação a 10000 rpm por 10 minutos. A concentração foi analisada por espectrofotômetro. Foi analisado que a influência do pH controla a carga da superfície do HDL e é responsável pelo grau de ionização de materiais em solução. Favorece os mecanismos de interação eletrostática e reação química entre o adsorvente e o corante. Significa que a capacidade de adsorção varia com o pH. O resultado obtido apresentou um tempo de contato de 2 horas, massa do hidróxido duplo lamelar de 0.015 g e o pH 9.

Comparando os resultados do seguinte projeto com o resultado obtido na literatura, apresentou uma adsorção eficiente, visto que os hidróxidos duplos lamelares exibiram uma diferença no procedimento da síntese, implicando em valores aproximados.

7 CONCLUSÃO

O hidróxido duplo lamelar apresenta uma gama de propriedades que facilitam a sua capacidade de adsorver o corante encontrado em uma solução aquosa. Tais como, sua elevada área superficial, calcinação, troca iônica e a regeneração que pode ser reutilizado para outros processos. Há também fatores que influenciam na síntese desse composto como velocidade da adição, tamanho, razão dos cátions e a estabilidade térmica.

A síntese do HDL e sua caracterização foram realizadas para determinar a melhor curva de tempo e de massa para a remoção do corante textil. Nas pesquisas realizadas, foi encontrado que o melhor tempo para a remoção do corante é em torno de 4 horas, acima deste tempo a remoção é insignificante, com uma massa de 40 mg de HDL. Assim pode ser removido em torno de 70,00% com HDL de 6 horas de agitação a 60 graus.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, E.J. **Remoção de corantes têxteis utilizando adsorventes nanoporosos**. 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Centro de tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

COSTA, A.F.S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no Estado de Pernambuco**. 2008. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Setor de Tecnologia e Meio Ambiente, Universidade Católica de Pernambuco, Toritama, 2008.

CREPALDI, E.L; VALIM, J.B. Hidróxidos duplos lamelares: síntese, estrutura, propriedades e aplicações. **Química Nova**, São Paulo, v.21, n.3, p. 300-311, mar/out. 1997.

CUNHA, V.R.R. et al. Hidróxidos duplos lamelares: nanopartículas inorgânicas para armazenamento e liberação de espécies de interesse biológico e terapêutico. **Química Nova**, São Paulo, v.33, n.1, p. 159-171, novembro. 2009.

DINIZ, G.F.D. Emprego de fungos na descoloração e redução da toxicidade de corantes têxteis. **Universidade Federal de São João Del-Rei**, Sete Lagoas, jun. 2015. Disponível em :<<http://www.ufsj.edu.br>>. Acesso em : 17 abr. 2016.

FARIAS, Y.M.M. **Biossorção de metais pesados pelo fungo *Penicilliumcorylophilum***. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Setor de Tecnologia de Processos, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

FERREIRA, O.P; ALVES, O.L. Ecomateriais: desenvolvimento e aplicação de materiais porosos funcionais para proteção ambiental. **Química Nova**, São Paulo, v.30, n.2, p. 464-467, novembro. 2006.

GUARATINI, C.C.I; ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v.21, n.3, p. 71-78, março. 1999.

GUARATINI, C.C.I; ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n.1,

LEAL, C.S.M. **Solubilidade de corantes AZO**. 2011. Dissertação (Mestrado em Química Industrial) – Setor de Química Industrial, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011.

LIMA, P. Tecnologias para desinfecção de água e esgotos: ozonização. **Ozonização**, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://boaspraticasnet.com.br>>. Acesso em 17 abr. 2016. p. 71-78, mar.

NASCIMENTO, J. Adsorção e Biossorção | Alternativas na Remoção de Toxinas. **Ciências e Tecnologia**, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://ciencia.me/ChCHO>>. Acesso em 12 abr. 2016.

PEIXOTO, F.; MARINHO, G.; RODRIGUES, E. Corantes têxteis: uma revisão. **Holos**, Ceará, v.5, p. 98-106, jan/out. 2013.

PERUZZO, L.C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Setor de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

QUADROS, S.S. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecidos de algodão**. 2005. Dissertação (Mestrado em Química) – Setor de Química, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2005.

REIS, M.J. **Síntese e caracterização de hidróxidos duplos lamelares preparados na presença de polímeros orgânicos ou com macromoléculas intercaladas**. 2009. Tese (Doutorado em Química) – Setor de Química, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

RODRIGUES, J.C. **Síntese, caracterização e aplicações de argilas aniônicas do tipo hidrotalcita**. 2007. Dissertação (Mestrado em Química) – Setor de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SANTOS, V.S. A bioacumulação é um fenômeno em que há a absorção e o acúmulo de substâncias no corpo de um organismo. **Bioacumulação**, Goiânia, 2016. Disponível em: <www.mundoeducacao.bol.uol.com.br>. Acesso em 10 abr. 2016.

YUDENITSCH, N. Perigo dos corantes artificiais para a saúde. **Medicina Alternativa**, São Paulo, 2015. Disponível em: <www.bolsademulher.com>. Acesso em 12 abr. 2016.

ZANONI, M.V.B; CARNEIRO, P.A. O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.29, n.174, p. 61-71, agosto. 2001.