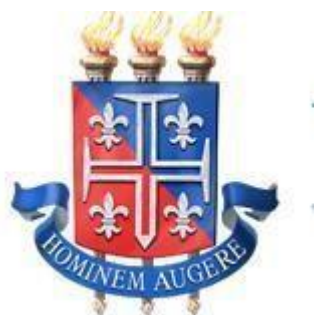


UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA - UNEB

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA- DCET

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA APLICADA -
PGQA



LETÍCIA SANTOS DE JESUS

**AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS OBTIDOS DE BAGAÇO DE
CANA-DE-AÇUCAR E DIÓXIDO DE TITÂNIO COMO
ADSORVENTES E FOTOCATALISADORES NO TRATAMENTO
DE RESÍDUOS DE CORANTES TÊXTEIS.**

Salvador- BA

2023

LETÍCIA SANTOS DE JESUS

AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS OBTIDOS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR E DIÓXIDO DE TITÂNIO COMO ADSORVENTES E FOTOCATALISADORES NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE CORANTES TÊXTEIS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Química Aplicada da Universidade do Estado da Bahia, para obtenção do título de Mestra em Química Aplicada.

Orientadora: Profa. Dra. Marluce Oliveira da Guarda Souza

Salvador- BA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Sistema de Bibliotecas da UNEB

| | |
|------|--|
| J58a | <p>Jesus, Leticia Santos de</p> <p>AVALIAÇÃO DE COMPÓSITOS OBTIDOS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR E DIÓXIDO DE TITÂNIO COMO ADSORVENTES E FOTOCATALISADORES NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE CORANTES TÊXTEIS. / Leticia Santos de Jesus, . Marluce Oliveira da Guarda , Souza. - Salvador, 2023. 87 fls : il.</p> <p>Orientador(a): Dr. Marluce Oliveira da Guarda Souza. Inclui Referências</p> <p>Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada - PGQA, Campus I. 2023.</p> <p>1.Fotocatálise heterogênea. 2.Fotocatalisadores . 3.compósitos de bagaço de cana de açúcar.</p> <p>CDD: 542</p> |
|------|--|

Dedico este trabalho a minha família em especial, aos meus queridos pais Eunice e José Júlio, minhas irmãs Lidiane e Lívia, minha avó Eugênia e meus amigos verdadeiros por sempre me apoiarem nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Nesses anos de mestrado, de muito estudo, esforço, dedicação e empenho, gostaria de agradecer a algumas pessoas que me acompanharam e foram essenciais para a realização de mais este sonho. Assim, deixo aqui, por meio de palavras sinceras, a importância que elas tiveram, e ainda têm, nesta conquista e a minha sincera gratidão a todas elas. Primeiramente, agradeço a Deus, pela minha vida, aos meus queridos pais Eunice e José Júlio; às minhas irmãs Lidiane e Lívia e à minha avó Eugênia e minha tia Eulina, pela compreensão, ao serem privados em diversos momentos da minha companhia e atenção, e pelo apoio, me estimulando nos momentos mais difíceis. Obrigada por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho e chegar aqui e, principalmente, pelo amor imenso que vocês têm por mim. À vocês, minha família, sou eternamente grata por tudo que sou, por tudo que consegui conquistar. Minha gratidão especial a Prof.Dra. Marluce da Guarda minha orientadora e, sobretudo, uma querida e grande amiga, pela pessoa e profissional que é. Obrigada por sua dedicação, que o fez, por muitas vezes, deixar de lado seus momentos de descanso para me ajudar e me orientar. E, principalmente, gratidão por sempre ter acreditado e depositado sua confiança em mim ao longo de todos esses anos de trabalho que se iniciaram ainda na graduação. Sem sua orientação, apoio, confiança e amizade, não apenas neste trabalho, mas em todo o caminho percorrido até aqui, nada disso seria possível.

Um agradecimento especial às amigas desde a graduação Marlena e Gabriela quem realmente considero como irmãs, e que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e torcendo por mim. Quero também agradecer aos colegas Igor, Lucas Malone, Thaianne, Taís, Fernanda, Bárbara Ane, Bernardo, Leidiana, e a todos aqueles envolvidos tanto nos projetos realizados no Laboratório do GPMC e na pós graduação cujos esforços e auxílio tornaram possível a concretização deste trabalho. E também aos meus colegas professores do Colégio Estadual Mário Augusto Texeira de Freitas em especial a Lucas Barbosa por sempre me incentivar nesta trajetória.

Ao professor Dr. Cesário das Virgens que muitas vezes me ajudou e me orientou neste árduo percurso acadêmico, que compartilhou importantes conhecimentos comigo e me ensinou muitas coisas, estando ao meu lado, pronto para me ajudar sempre que necessário.

Agradeço ainda à Dona Antônia, pela disposição e por ter me ajudado em diversos momentos, principalmente fazendo o possível para que o laboratório estivesse sempre em ordem e funcionando. Obrigada pelo esforço e dedicação. Agradeço também as professoras Marta Valéria e Fabiany Cruz, membros da banca de Defesa de Mestrado, pelos conselhos, sugestões e interesse em contribuir para o desenvolvimento deste trabalho. Por fim, não menos importante agradeço a Deus, por estar sempre comigo, me guiando, iluminando cada passo meu e me abençoando. Obrigada por me dar a fé e a força necessária para lutar e enfrentar todos os obstáculos, sem nunca desistir. Agradeço também aos santos e anjos, que sempre estão olhando por mim e intercedendo a meu favor. Sem essa força divina, nenhuma conquista seria possível.

A todos os que não foram citados, mas de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. OBRIGADA!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

RESUMO

Resíduos da agroindústria, a exemplo de bagaço de cana-de açúcar, quando descartados de forma inadequada provocam sérios problemas ambientais sendo imprescindível o seu aproveitamento. Neste contexto, o desenvolvimento de compósitos baseados em material carbonáceo originados de biomassa e óxidos metálicos para aplicação em vários setores, como no tratamento de efluentes utilizando a fotocatalise heterogênea, tem sido alvo de várias pesquisas. No presente trabalho, avaliou-se o desempenho de materiais produzidos em um estudo anterior, desenvolvido no grupo de pesquisa, à base de dióxido de titânio e bagaço de cana de açúcar na fotocatalise heterogênea dos corantes alaranjado de metila, azul de metileno e resíduos de laboratório. Foram utilizadas as amostras TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450, TiBC1:2540 e TiO₂.

A descoloração do corante alaranjado de metila, empregando as amostras com massa 0,02g variou de 82 a 88%, sendo o melhor desempenho da amostra TiBC1:1450, porém inferior ao TiO₂ (93%). Para o azul de metileno foram observadas pequenas diferenças nas percentagens de descoloração ao se utilizar 0,2 0,02 g, ficando todas superiores a 79 %, sendo o máximo 88%. A descoloração máxima do resíduo do alaranjado de metila com o emprego dos compósitos foi 61 %, superior à da fotólise, porém consideravelmente inferior ao dióxido de titânio e da solução 50 mg L⁻¹.

Resultados semelhantes foram obtidos com o resíduo do azul de metileno sendo a descoloração máxima 65%. Por fim, a descoloração máxima da misturas de resíduos alaranjado de metila com azul de metileno foi 60% após 90 minutos de teste.

De um modo geral, as amostras com melhor desempenho foram aquelas obtidas por tratamento térmico da mistura na temperatura 450°C (TiBC1:1 e TiBC1:2 450°C), evidenciando um melhor potencial para emprego na fotocatalise.

Palavras-chaves: Fotocatalise heterogênea, Fotocatalisadores, compósitos de bagaço de cana de açúcar.

ABSTRACT

Agro-industry residues, such as sugarcane bagasse, when disposed of inappropriately, cause serious environmental problems, making it essential to use them. In this context, the development of composites based on carbonaceous material originating from biomass and metallic oxides for application in various sectors, such as in the treatment of effluents using heterogeneous photocatalysis, has been the subject of several studies. In the present work, the performance of materials produced in a previous study, developed in the research group, based on titanium dioxide and sugarcane bagasse in the heterogeneous photocatalysis of methyl orange, methylene blue and residues of laboratory. Samples TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450, TiBC1:2540 and TiO₂ were used.

The discoloration of the methyl orange dye, using the samples with a mass of 0.02g, ranged from 82 to 88%, with the best performance being the TiBC1;1450 sample, but lower than the TiO₂ (93%). For methylene blue, small differences were observed in the percentages of discoloration when using 0.2 0.02 g, all of which were greater than 79%, with a maximum of 88%. The maximum discoloration of the methyl orange residue with the use of the composites was 61%, higher than that of photolysis, but considerably lower than that of titanium dioxide and the 50 mg L⁻¹ solution.

Similar results were obtained with the methylene blue residue being the maximum discoloration 65%. Finally, the maximum discoloration of the mixtures of methyl orange residues with methylene blue was 60% after 90 minutes of test.

In general, the samples with the best performance were those obtained by thermal treatment of the mixture at a temperature of 450°C (TiBC1:1 and TiBC1:2 450°C) showing a better potential for use in photocatalysis, presenting more satisfactory results even with the mass ten times smaller.

Keywords :Heterogeneous photocatalysis,Photocatalysts,Sugarcane bagasse composites.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 18 |
| 2.1. Geral..... | 18 |
| 2.2. Objetivos Específicos..... | 19 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 19 |
| 3.1. Resíduos Agroindustriais..... | 19 |
| 3.1.1. Bagaço de cana-de-açúcar..... | 20 |
| 3.2.1 Aplicações do bagaço de cana-de-açúcar..... | 22 |
| 3.2.2. Celulose, Hemicelulose e Lignina..... | 23 |
| 3.3. Dióxido de titânio (TiO ₂)..... | 25 |
| 4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL | 28 |
| 4.1. Materiais utilizados..... | 28 |
| 4.2. Testes fotocatalíticos | 31 |
| 4.2.1 Alaranjado de metila..... | 32 |
| 4.2.2 Azul de metileno..... | 32 |
| 4.2.3 Resíduo de laboratório..... | 33 |
| 4.2.4 Tratamentos dos Resíduos..... | 33 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 35 |
| 5.1.1. Teste com alaranjado de metila..... | 35 |
| 5.1.2 Testes com corantes azul de metileno..... | 38 |
| 5.1.3. Teste com resíduos produzidos no laboratório..... | 42 |
| 5.1.4. Resíduos de alaranjado de metila..... | 43 |
| 5.1.5 Teste com resíduos de laboratório de azul de metileno | 45 |
| 5.2. Teste com mistura de resíduos de laboratório de alaranjado de metila e azul de metileno..... | 48 |
| 5.3. Teste de Adsorção resíduos de laboratório..... | 62 |
| 5.4. Espectroscopia de Absorção no Uv-Vis..... | 68 |
| 5.5. Separação dos semicondutores da solução | 69 |
| 6. CONCLUSÃO | 71 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 7. LIMITAÇÕES..... | 73 |
| 8. PERSPECTIVAS FUTURAS..... | 74 |
| 9. REFERÊNCIAS..... | 75 |
| 10. ANEXOS..... | 93 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Constituição morfológica da cana-de-açúcar..... | 21 |
| Figura 2. Bagaço de cana-de-açúcar..... | 22 |
| Figura 3. Estrutura da hemicelulose..... | 24 |
| Figura 4. Estruturas das principais moléculas da lignina..... | 24 |
| Figura 5. Estruturas das fases (a) anatase, (b) brookita e (c) rutilo..... | 24 |
| Figura 6- Ilustração do mecanismo fotocatalítico de um semiconductor..... | 28 |
| Figura 7 - Estrutura do corante azul de metileno..... | 31 |
| Figura 8. Estrutura do corante alaranjado de metila..... | 31 |
| Figura 9. Esquema dos testes fotocatalíticos..... | 36 |
| Figura 10 Solução alaranjado de metila em uma concentração de 50 mg L ⁻¹ | 36 |
| Figura 11 solução azul de metileno em uma concentração de 100 mg L ⁻¹ | 37 |
| Figura 12 - Ilustração dos resíduos de corantes têxteis dispostos no laboratório de pesquisa Materiais e Catálise (GPMC) UNEB..... | 37 |
| Figura 13 Ilustração dos resíduos separados e tratados para aplicação de testes fotocatalíticos..... | 37 |
| Figura 14- Alíquotas da solução de alaranjado o de metila recolhidas em distintos intervalos durante a fotocatalise com compósito TiBC1:1200..... | 39 |
| Figura 15- Alíquotas da solução de alaranjado o de metila obtidas em distintos intervalos durante a fotocatalise com o compósito TiBC1:1450..... | 39 |
| Figura 16. Descoloração do alaranjado de metila empregando as amostras com massa de 0,02 g..... | 41 |
| Figura 17 Descoloração do alaranjado de metila as amostras com massa de 0,02..... | 42 |
| Figura 18. Alíquotas da solução de azul de metileno com compósitTiBC1:1200 com massa 0,02g..... | 42 |
| Figura 19. Alíquotas da solução de azul de metileno com compósito TiBC1:1450 com massa 0,02g..... | 43 |

| | |
|---|----|
| Figura 20. Descoloração do azul de metileno empregando de 0,2g das amostras | 44 |
| Figura 21. Descoloração do azul de metileno empregando 0,2g das amostras | 44 |
| Figura 22. Descoloração do azul de metileno empregando 0,02 g das amostras | 44 |
| Figura 23. Descoloração do azul de metileno para as amostras com massa de 0,02g | 46 |
| Figura 24. Fotos obtidas no início (1) e no final (2) do teste fotocatalítico utilizando composto 1:1450 | 47 |
| Figura 25. Descoloração do resíduo de laboratório de alaranjado de metila usando 0,02g | 48 |
| Figura 26. Descoloração do resíduo de laboratório de alaranjado de metila 0,02g | 49 |
| Figura 27. Descoloração do resíduo de laboratório azul de metileno com composto TiBC1:1450 | 50 |
| Figura 28. Descoloração usando resíduos de laboratório de azul de metileno com 0,02g | 51 |
| Figura 29. Descoloração para as amostras com 0,02g usando resíduos de laboratório de azul de metileno | 51 |
| Figura 30. Fotos obtidas no início (1) e no final (2) do teste fotocatalítico utilizando composto 1:1450 | 52 |
| Figura 31. descoloração da mistura de resíduo Alaranjado de metila com azul de metileno | 52 |
| Figura 32. Descoloração da mistura de resíduos de laboratório de azul e metileno e alaranjado de metila com massa de 0,02g | 53 |
| Figura 33. Descoloração da mistura de resíduos de laboratório de azul de metileno e alaranjado de metila com massa de 0,02 | 54 |
| Figura 34. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório azul de metileno e a amostra TiBC | |

| | |
|--|----|
| 1:1200..... | 58 |
| Figura 35. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório azul de metileno e amostra TiBC | |
| 1:1450..... | 59 |
| Figura 36. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório azul de metileno e amostra TiBC | |
| 1:2200..... | 59 |
| Figura 37. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório azul de metileno e amostra TiBC | |
| 1:2450..... | 60 |
| Figura 38 Curva de adsorção do sistema com resíduo de laboratório alaranjado de metila e amostra TiBC | |
| 1:1200..... | 60 |
| Figura 39. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório alaranjado de metila e amostra TiBC | |
| 1:1450..... | 61 |
| Figura 40. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório alaranjado de metila e amostraTiBC1:2200..... | 61 |
| Figura 41. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório alaranjado de metila e amostra TiBC | |
| 1:2450..... | 62 |
| Figura 42. Curva de adsorção do sistema mistura resíduo de laboratório alaranjado de metila + azul de metileno e amostra TiBC 1:1200..... | 62 |
| Figura 43. Curva de adsorção do sistema mistura resíduo de laboratório alaranjado de metila + azul de metileno e amostra TiBC | |
| 1:1450..... | 63 |
| Figura 44. Curva de adsorção do sistema com mistura resíduo de laboratório alaranjado de metila+ azul de metileno e amostra TiBC 1:2200..... | 63 |
| Figura 45. Curva de adsorção do sistema mistura resíduo de laboratório alaranjado de metila + azul de metileno e amostra TiBC 1:2450..... | 64 |
| Figura 46. Espectro de absorção UV-Vis com mistura de resíduos de laboratório de corante alaranjado de metila e azul de metileno com a amostra TiBC 1:1450..... | 65 |
| Figuras 47. Fotos obtidas no início (1) e no final (2) do teste fotocatalítico utilizando TiO ₂ como semicondutor..... | 66 |
| Figuras 48. Fotos obtidas no início (1) e no final (2) do teste fotocatalítico utilizando TiBC1:1450 como semicondutor..... | 66 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GPMC Grupo de Pesquisa em Materiais e Catálise

UNEB- Universidade do Estado da Bahia

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR Norma Técnica.

AM Azul de metileno

TiO₂ Dióxido de titânio P25 da Degussa

BC Bagaço de cana-de-açúcar

TiBC1:
200

Compósito na proporção 1:1 tratado a 473 K

Eg Energia de *band gap*

UV-VIS Ultravioleta-Visível

AlaM Alaranjado de metila

TiBC1:
1450

Compósito na proporção 1:1 tratado a 723 K

TiBC12
200

Compósito na proporção 1:2 tratado a 473 K

TiBC1:
2450

Compósito na proporção 1:2 tratado a 723 K

POA Processos Oxidativos Avançados

INTRODUÇÃO

A utilização abundante de biomassa tem se tornando crescente devido a ampliação da preocupação da população mundial em relação as questões sociológicas e as regulamentações ambientais. A Biomassa lignocelulósica tem propriedades favoráveis para o tratamento de efluentes por possuir uma grande área superficial, porém, o seu uso in natura pode acarretar na liberação de constituintes orgânicos levando ao aumento da demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e carbono orgânico total (COT), ocasionando uma poluição secundária e redução do teor de oxigênio nos corpos hídricos. (Al-Mamun, et al., 2019).

A biomassa originada de diversas fontes, como plantas aquáticas, florestal, resíduos agrícolas, dentre outros, vem sendo utilizado como matriz energética e térmica (WS Koe, et al., 2020), assim como na preparação de materiais baseados em carbono e óxidos metálicos, a exemplo dos óxidos de ferro (Silva, et al., 2017; Souza, et al., 2019) e do dióxido de titânio (LIU, et al., 2018, SILVA, 2022).

O dióxido de titânio (TiO_2) é amplamente empregado como semicondutor, nos estudos de tratamento de efluentes industriais utilizando a fotocatalise heterogênea por causa da sua estabilidade química, atividade fotocatalítica e baixa toxicidade referente a saúde humana além por ser viável economicamente (DEWIL, et al. 2017). No entanto, alguns aspectos limitam o seu uso, devido a dificuldade de separação e recuperação da solução no final do processo; com o valor da energia do band gap (3,2 eV) que dificulta sua aplicação na região do visível e a fácil recombinação do par elétron/lacuna (e^-/h^+) (ZHAO et al., 2018). Várias alternativas são propostas para melhorar as propriedades do dióxido de titânio por exemplo sendo este introduzido a uma matriz carbonácea proveniente de biomassa, como nos trabalhos desenvolvidos por LIU e colaboradores (2018) que sintetizaram compósitos de TiO_2 com carvão vegetal e aplicaram na degradação do corante têxtil azul de metileno por meio da fotocatalise heterogênea e o estudo realizado por obtendo compósitos baseados em dióxido de titânio e material carbonáceo preparados através do bagaço de cana-de-açúcar, para aplicação na fotocatalise, apresentando vantagens na fotodegradação do alaranjado de metila.

Os novos materiais obtidos a partir da mistura do dióxido de titânio com biomassa possuem propriedades diferentes dos materiais constituintes individuais apresentando vantagens sob diversos aspectos, no que diz respeito ao emprego na fotocatalise heteroênea (SILVA, 2020).

A contaminação dos corpos d'água pelo despejo inadequado de efluentes contaminados prejudica tanto o ecossistema aquático quanto a saúde humana. As indústrias têxteis têm destaque em relação ao descarte desses efluentes, por ter um potencial poluidor em corpos

d'água, em que aproximadamente cerca de 10 a 15% do poluente orgânico corante é removido durante o

processo de tingimento e são tratados de maneira inadequada. Essas fontes poluem tanto em termos de volume de corantes depois dos processamentos, quanto em composição. Mesmo em concentração baixa de corante (abaixo de 1 mg L⁻¹) a sua presença é altamente visível o que reduz a penetração da luz em sistemas aquáticos, ocasionando uma atenuação da fotossíntese, promovendo a perda de vidas presentes neste meio. (MUMTAZ, et al., 2015). Podem impactar também saúde humana ocasionando dor de cabeça, náusea, irritação da pele, problema pulmonar e malformação congênita. Dentre os diversos corantes têxteis existentes, encontra-se o azul de metileno e o alaranjado de metila que são amplamente utilizados na indústria têxtil e empregados na literatura como sistema modelo de contaminante para processos de tratamento de efluentes por adsorção e fotocatalise (D. Gumuş E F. Akbal, 2011; FLORÊNCIO E MALPASS, 2014; YAGUB, et al. 2014; HYNES, et al. 2020). Diante dos problemas mencionados, o tratamento de efluentes e/ou recuperação do ecossistema torna-se imprescindível com intuito de remediar problemas e impactos ambientais, evitando a poluição das águas e solos e minimizando a proliferação de doenças na sociedade. Este tratamento vai atuar em conformidade com as características físicas, químicas e biológicas dos poluentes a serem removidos e/ou das operações usadas para o tratamento (GHALY, et al., 2014; DEWIL, et al. 2017, AL-MAMUN, et al., 2019).

Dentre os tratamentos de águas residuais provenientes das indústrias têxteis, os Processos Oxidativos Avançados (POA) que se baseiam na geração de

espécies muito reativas (radicais $\bullet\text{OH}$, H_2O_2 , $\text{O}_2 \bullet^-$) para a degradação de compostos recalcitrantes apresentam vantagens frente a outros convencionais, devido ao seu poder de decomposição dos poluentes em outros menos invasivos ao meio ambiente (NOGUEIRA; JARDIM, 1998; ARCANJO, et al., 2018).

Na fotocatalise heterogênea, que se destaca entre os Processos Oxidativos Avançados, as espécies radicalares, principalmente o radical hidroxila, são geradas através da interação das moléculas de água e oxigênio, adsorvidas na superfície de um semicondutor, com o par elétron/lacuna (e^-/h^+) gerado por meio da incidência de radiação eletromagnética, promovendo o elétron da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC). Os radicais produzidos são responsáveis pela degradação de compostos poluentes levando à mineralização total, formando espécies como CO_2 e H_2O . (KARAOLIA, et al., 2018; ARCANJO, et al., 2018).

Nos processos fotocatalíticos, semicondutores inorgânicos como sulfeto de zinco (ZnS), trióxido de tungstênio (WO_3), e óxido de ferro III (Fe_2O_3) são amplamente estudados, no entanto o dióxido de titânio (TiO_2) destaca-se como sendo um dos fotocatalisadores mais aplicados com alta atividade fotocatalítica (EL-SALAMONY et al., 2017). Para emprego na fotocatalise, torna-se imprescindível que os catalisadores tenham: uma elevada atividade fotocatalítica, facilidade para gerar radicais que são responsáveis pela degradação do poluente orgânico, e além disso, o sólido deve ser de fácil separação da solução que irá ser tratada, com intuito de evitar custos com uma segunda etapa de separação, para que o mesmo possa ser reaplicado (ZHAO et al., 2018).

Desta maneira, o presente estudo tem como propósito investigar o potencial de aplicação na fotocatalise heterogênea os materiais que foram desenvolvidos no trabalho de SILVA, 2020, a partir de dióxido de titânio comercial e bagaço de cana-de-açúcar in natura, em diferentes proporções e tratados termicamente em distintas temperaturas. Foram utilizados como sistemas modelos soluções dos corantes alaranjado de metila, azul de metileno, empregando também em resíduo de laboratório.

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar o potencial de aplicação de materiais obtidos a partir de dióxido de titânio comercial e bagaço de cana-de-açúcar como adsorventes e fotocatalisadores, bem como as propriedades dos mesmos.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho fotocatalítico dos materiais na degradação de sistemas modelos de corantes têxteis e em resíduos obtidos no laboratório de pesquisa;
- Analisar as propriedades físico-químicas dos materiais e relacionar com o desempenho;
- Avaliar o efeito da massa do fotocatalisador com cada sistema fotocatalisador/corante.

3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Resíduos Agroindustriais

A agroindústria apresenta participação na modificação de produtos e no processamento de matéria-prima resultante de setores do agronegócio o que movimenta cerca de 5,9% do PIB do Brasil, concebendo emprego, renda e desenvolvimento rural. Mas é importante ressaltar que este setor produz uma grande quantidade de resíduos a exemplo de: cascas, sementes, e bagaços oriundos da cultura de diversos cultivos demonstrando riscos a de contaminação de corpos hídricos e solos. Pode-se destacar que a quantidade de resíduos agroindustriais produzidos no Brasil em 2020/2021 atingiu cerca de 382,25 milhões de toneladas, sendo indicado que essa biomassa possa ser utilizada no desenvolvimento de novos materiais(Cusenza et al., 2021, ANASTOPOULOS, et al., 2017).

Diversos problemas ambientais podem ser destacados como a produção de resíduos sólidos ou líquidos,que segundo a NBR (o que é NBR?) 10004:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) são aqueles que decorrem de atividades industriais, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, e de serviços (ABNT, 2004). Isto se dá ao aumento da população de forma desenfreada que por consequência leva ao aumento do consumo e das perdas dos resíduos durante o processo de produção, gerados durante as atividades industriais (Varjanie Upasani, 2021).

Nesse sentido, a procura por estratégias sustentáveis para o setor agroindustrial vêm crescendo, devido ao fato que estes resíduos são ricos em nutrientes e insumos que tendem a ser usados na indústria farmacêutica, química e alimentícia em que agrega valor econômico ao resíduo e emprego para a região local. A utilização agroindustriais ricos em materiais lignocelulósicos e diversos outros grupos funcionais, podem ser usados na obtenção de compósitos, biopolímeros biogás, etanol, entre outros, colaborando para descontaminação de ambientes aquáticos (SANTOS et al., 2021).

Diversas alternativas foram encontradas na literatura, que retratam a

utilização de bagaço de cana (DA SILVA et al., 2020), sementes de goiaba e/ou cajá (DOS SANTOS, 2021), tanto como material adsorptivos, quanto na aplicação fotocatalítica para o tratamento de efluentes

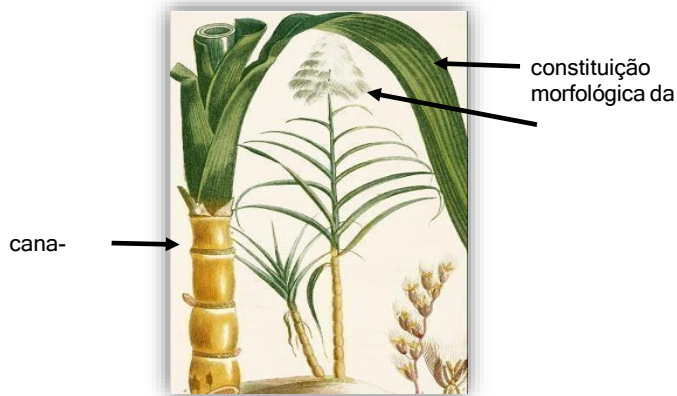
3.1.1. Bagaço de cana-de-açúcar

A cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma planta da família das *poáceas* e ao gênero *Saccharum* originária da Ásia Meridional, bastante cultivada em países tropicais e subtropicais (Borges et al., 2008, LUZ, et al., 2018). Considera-se que o Brasil é um grande produtor de cana-de-açúcar, uma das principais matérias-primas utilizadas na indústria agrícola no país gerando açúcar, tendo em vista que é uma das poucas plantas que armazenam carboidratos

como sacarose e pode gerar etanol. Esta planta além das vantagens no ramo alimentícios, pode ser aplicada para a produção de etanol empregado como combustível visando atender as necessidades de bioenergia global, diminuindo a dependência da utilização do petróleo e o impacto com as mudanças climáticas (GRANDE, et al., 2018).

A estrutura da cana é constituída por um talo cilíndrico, como pode ser ilustrado na figura 1, que de forma geral atinge uma altura entre dois a quatro metros. No talo possui o colmo, em que se encontra as células cuja função é de armazenar uma grande quantidade de suco açucarado da planta, os outros constituintes são a inflorescência e a folha (OLIVEIRA, 2013).

Figura 1. Constituição morfológica da cana-de-açúcar



Fonte: CHARLIE, 2013

O caldo de cana é o principal produto comercializado da cana de açúcar, que é extraído no momento que são pressionados caule/talos cilíndricos e podem ser aproveitados de maneira direta ou transformados em açúcar para consumo alimentar e também em etanol para geração de combustíveis para automóveis. Segundo (Souza et al., 2015), a cada tonelada decana moída na indústria é obtido 700 litros de caldo de cana e 300 kg de bagaço assim sendo, a cada ano, das 250 milhões de toneladas de cana moída nas usinas do Brasil, 75 milhões de toneladas de bagaço de cana são obtidos (GRANGEIRO, 2022). Uma ilustração de bagaço de cana-de-açúcar é mostrada na figura 2.

Figura 2



Bagaço de cana-de-açúcar
Fonte: (SILVA, 2020)

3.2.2. Celulose, Hemicelulose e Lignina

Como apontado anteriormente, uma enorme quantidade do bagaço de cana é queimada para ser utilizado como combustível na produção de vapor visando a obtenção de energia na fábrica que o formou, especialmente na produção de açúcar ou pode ser usado como fertilizante no plantio da cana-de-açúcar. No entanto, em muitas regiões o bagaço de cana-de-açúcar ainda é descartado de maneira inadequada, além disso, são organizados em pilhas ao ar livre. É sabido que uma das opções aplicadas é a incineração, que influencia de maneira direta no meio ambiente por causa da emissão de gases, como CO₂, (LUZ, et al., 2018).

Visando encontrar alternativas adequadas para destinar este tipo de resíduo, alguns estudiosos vêm desenvolvendo pesquisas, voltadas na produção de materiais utilizando as fibras do bagaço de cana, a exemplo dos trabalhos desenvolvidos para a produção de tijolos (Faria et al.2012), cerâmica (Souza et al. 2011), aditivo de cimento (Andreão et al. 2019), reforços em compósitos poliméricos (Khoo et al. 2018), biogás (Nosratpour et al. 2018), bioetanol (Antunes et al. 2018), biocombustível de aviação (Diederichs et al. 2016) e adsorventes (Fideles et al. 2018).

Trabalhos realizados por Silva e colaboradores (2020), e Da Silva (2021) relatam a eficiência e relevância do uso de biomassas, como bagaço de cana, misturadas a materiais a exemplo do dióxido de titânio e óxidos de ferros, obtidas por métodos de sínteses diferentes para o tratamento de efluentes contaminados por compostos orgânicos por meio dos processos oxidativos avançados, especialmente, a fotocatalise heterogênea. A biomassa é fonte de carbono e mostra uma estabilidade química além do baixo custo, tornando assim um suporte mais viável quando comparado com os suportes metálicos (MIAN e LIU, 2018).

3.2.2. Celulose, Hemicelulose e Lignina

A celulose é o constituinte principal dos materiais vegetais, sendo o constituinte que se tem em maior quantidade em materiais lignocelulósicos, no qual este é responsável pela sua estrutura fibrosa. Representa um polissacarídeo que possui fórmula química geral $(C_6H_{10}O_5)_n$ que é estruturado por unidades de monômeros β - glucopirranose, obtido por cadeias lineares com uma elevada quantidade de moléculas de monossacarídeos (glicose), como pode ser visto na figura 3, e apresenta uma baixa solubilidade em água esta propriedade é atribuída à forteligação de hidrogênio intramolecular e intermolecular entre as cadeias carbônicas .

Mesmo apresentando uma baixa solubilidade, a celulose é usada em várias aplicações, desde a elaboração de compósitos que vai desde aplicação ambiental até a área da biomedicina, a exemplo do processo de produção de membranas de purificação de sangue (LAVANYA, *et al.*, 2011, apud KUGA E BROWN).

A hemicelulose é um polissacarídeo constituído de cadeias menores de heteropolissacarídeos ramificados (figura 3), feito por pentoses ($C_5H_8O_4$) e hexoses ($C_6H_{10}O_5$). Os componentes principais das pentoses são D-xilose e L-arabinose e das hexoses são D-glucose, D-galactose e D-manose, em que a xilose é o constituinte principal da hemicelulose oriunda do bagaço de cana e assim, apresentam uma maior estabilidade química em comparação a celulose e são parcialmente solúveis em água, e além disso ,possui uma grande relevância para absorção de umidade das plantas (KRYLOVA e ZAITCHENKO, 2018).

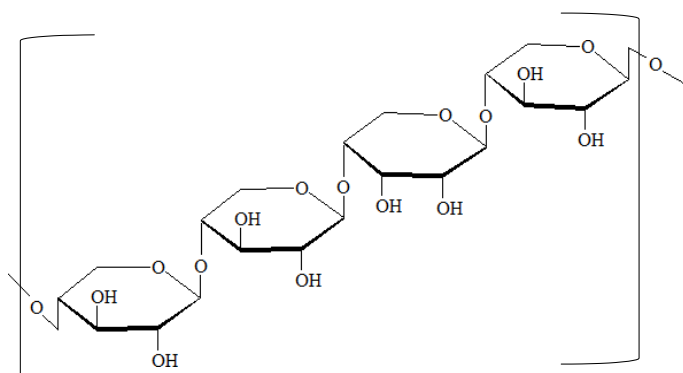
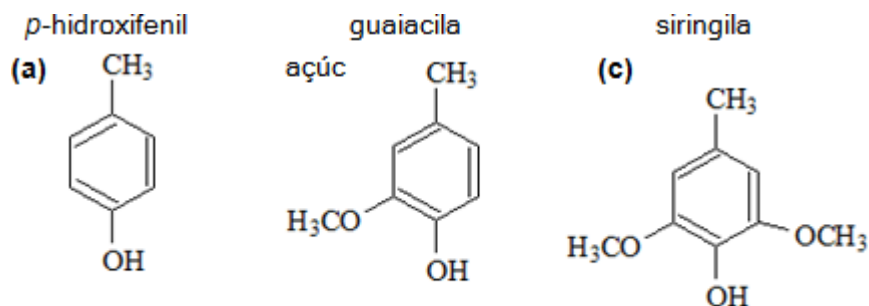


Figura 3. Estrutura da hemicelulose
Fonte: Silva 2020

A lignina possui o maior teor de carbono dentre os polímeros constituintes da biomassa lignocelulósica e é considerada uma macromolécula amorfa obtida por meio da mistura de polímeros fenólicos, que são interconectados em redes tridimensionais e tem a responsabilidade de unir as fibras de celulose à rede de hemicelulose, que conferem a característica de dureza à parede celular (SILVA, 2020). A estrutura da lignina é constituída pelo acoplamento de três moléculas principais como p-hidroxifenila, guaiacila e siringila, as quais estruturas estão representadas na figura 6.

É “criada” na lignina uma camada protetora o que colabora para dificultar a extração tanto química quanto física dos polissacarídeos diminuindo o ataque microbiano (KRYLOVA e ZAITCHENKO, 2018).

Figura 4. Estruturas das principais moléculas da lignina

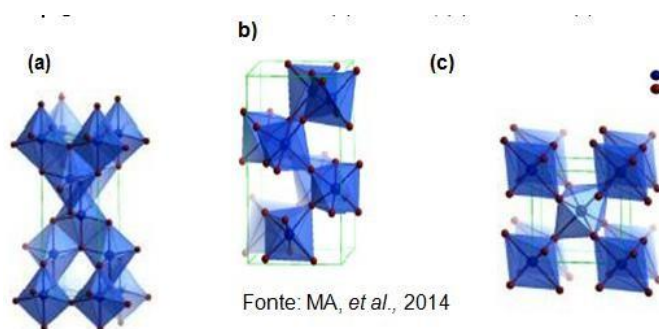


Fonte: Elaborado pela autora com adaptação de Silva, 2020

3.3 Dióxido de titânio (TiO₂)

Dióxido de titânio ou titânia é caracterizado como um sólido branco polimorfo, que possui três principais fases cristalinas: anatase, brookita e rutilo. Todas as fases consistem em TiO₆ octaédricos, diferindo nas distorções das unidades dos octaedros como ilustrado na figura 5. Na anatase (figura 5 (a)) os octaedros estão dispostos na forma de zigue zague compartilhando quatro arestas, na brookita (figura 5 (b)) as arestas e os vértices estão conectados e no rutilo (figura 5 (c)) os octaedros compartilham duas arestas e se arranjam linearmente e paralelos uns aos outros (MA, WANG e JIA, 2014). Termodinamicamente, a fase rutilo é mais estável, sendo a anatase e a brookita caracterizadas como metaestáveis. De modo geral, a transformação de fase da anatase para rutilo inicia-se por meio da interface entre as partículas de anatase que estão aglomeradas o que leva a uma geração do óxido rutilo, importante salientar que a presença de defeitos na anatase é um dos pontos significativos, para que aconteça a transformação (ZHANG, et al., 2006).

Figura 5. Estruturas das fases (a) anatase, (b) brookita e (c) rutilo



Fonte: MA, *et al.*, 2014

O dióxido de titânio também é considerado um importante semicondutor na aplicação de diversos campos como no processo de obtenção de hidrogênio,

fotossíntese, redução de dióxido de carbono, síntese orgânica, células solares, e etc. No entanto, uma das mais importantes aplicações deste material é como fotocalisador. Alguns materiais semicondutores são empregados na fotocatalise heterogênea, como óxido férrico (Fe_2O_3) usado no trabalho desenvolvido por De Castro (2019) que estudou as propriedades fotocatalíticas de nanopartículas de magnetita, e o estudo feito por Dos Santos (2021) que usou óxido de ferro (goetita) tendo como objetivo a degradação fotocatalítica de corante textil, e o estudo realizado com óxido de zinco (ZnO) na pesquisa realizada por Ye e colaboradores (2015), no qual compostos baseados em nanofibras de carbono e óxido de zinco foram preparados para fotodegradação do corante rodamina b; embora semicondutores diferentes serem aplicados de acordo com a literatura, o TiO_2 demonstra o maior potencial, por causa das suas propriedades específicas como alta estabilidade química, não toxicidade e elevada reatividade em algumas reações químicas, principalmente nos processos de tratamento de efluentes que estão contaminados por poluentes orgânicos (DA SILVA WOLFF et al, 2022).

Apesar das vantagens apresentadas em se utilizar o dióxido de titânio como fotocatalisador, este sólido apresenta algumas desvantagens como a dificuldade na separação do sólido na solução contaminante depois de todo processo de degradação, devido ao tamanho das partículas presentes no pó do dióxido que é muito fino, existem também uma disposição de aglomeração das partículas e isso pode ser prejudicial a área superficial e a reutilização deste sólido; o valor do intervalo de banda (energia de *band gap*) de 3,2 eV é elevado, o que dificulta o uso deste material em aplicações que fazem uso da irradiação na faixa de onda do visível, sendo imprescindível a radiação na região ultravioleta para a sua ativação e a rápida recombinação do par elétron-lacuna (e^-/h^+) que minimiza a eficiência quântica deste semicondutor (EL-SALAMONY, et al., 2017; LIU et al., 2018).

Por estes motivos, muitos trabalhos estão desenvolvendo pesquisas voltadas a mudanças estruturais e ópticas do dióxido de titânio através da dopagem deste com / íons metálicos e não metálicos, como o trabalho realizado por Khairy e Zakaria (2014) tendo se mostrado um meio econômico de remoção de contaminantes de águas residuais. Além disso, a incorporação de dopantes

como a platina (Zhou et al., 2018) possibilitou o uso de TiO_2 mesmo sob condições de luz visível devido à geração de novos níveis de energia e uma estrutura nanocristalina melhorada e estável , levando ao uso de TiO_2 em aplicações cotidianas.

Existem também compósitos constituídos de dióxido de titânio/material carbonáceo, em que a principal fonte está relacionado os materiais lignocelulósicos, como por exemplo da produção de carvão ativado, por meio do bagaço de cana, como no trabalho produzido por El- Salamony e colaboradores (2017), em que utilizou o semiconductor para ser aplicado na remoção do azul de metileno, os autores relatam a relevância deste tipo de suporte por causa da capacidade do mesmo de prolongar a separação do par e^-/h^+ o que aumenta a eficiência quântica do dióxido. Apesar de que alguns trabalhos como o de Shi e colaboradores (2016), tenha sido publicado nessa vertente, a compreensão sobre estrutura, morfologia e diferentes desempenhos dos fotocatalisadores ainda requerem estudo, necessitando de uma maior discussão e produção de compósitos com estruturas apropriadas a partir deste para diminuir a poluição e impactos ambientais.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A dificuldade de acesso aos laboratórios no período da pandemia 2020-2021 provocado pela Covid-19 no mesmo ano de ingresso da autora ao Programa de Pós Graduação em Química Aplicada da UNEB e após ter assistido a defesa do trabalho e realizar a leitura de dissertação de SILVA,2020, e após reuniões de grupo surgiu a necessidade de ampliação do trabalho e assim, foi autorizada pela Profa. Msc Fernanda Sales Silva (Anexo A), a utilização das amostras (Anexo B e C) que obtiveram bons desempenho em relação área superficial, *bad-gap* e na descoloração dos corantes textis no processo de fotocatalise heterogênea aplicado no sistema/modelo. E assim, foram realizados testes fotocatalíticos com uma solução do alaranjado de metila com concentração de 50 mg/L^{-1} , azul de metileno de 100 mg L^{-1} e resíduos de laboratorio usando analisando a diminuição da mssa dos fotocatalisadores de 0,2 para 0,02 g.

4.1. Materiais utilizados

O Dióxido de Titânio comercial Degussa P25 e demais compósitos (tabela 1) utilizados nos testes foram disponibilizados pelo Grupo de Pesquisa em Materiais e Catálises do Programa de Pós-graduação em Química Aplicada (PGQA)

Tabela 1. Dióxido de titânio comercial (P25, degussa) e os compósitos sintetizados (Anexo D)

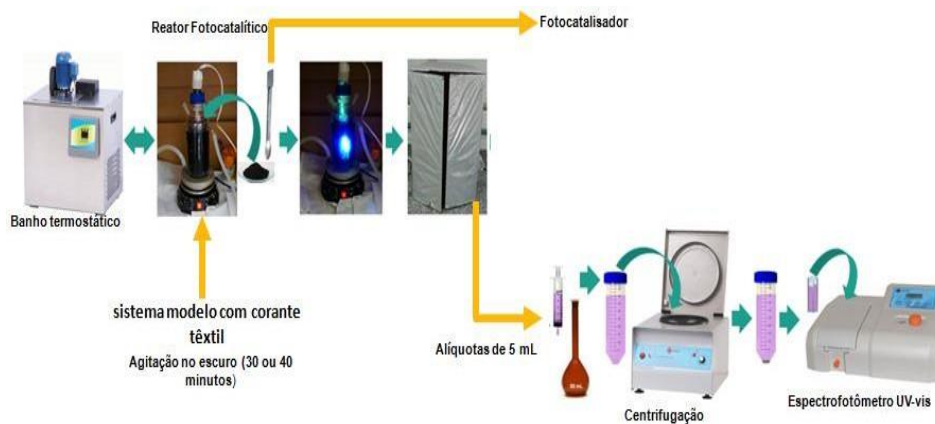
| Amostras | Nomes | Marc a |
|------------------|-----------------------------------|-----------|
| TiO ₂ | Dióxido de Titânio | - |
| TiBC1:1200 | Dióxido de Titânio / biomassa 1:1 | - |
| TiBC1:2200 | Dióxido de Titânio/ biomassa 1:2 | - |
| TiBC1:1450 | Dióxido de Titânio/ biomassa 1:1 | - |
| TiBC 1:2450 | Dióxido de Titânio/ biomassa 1:2 | - |
| AM | Azul de metileno hidratado PA | Neon |
| AlaM | Alaranjado de Metila PA | Neon |

| | | |
|----------------------------|--|----|
| Resíduos de laboratório AM | Resíduos de laboratório Azul de metileno | -- |
|----------------------------|--|----|

4.2 Testes fotocatalíticos

Os testes fotocatalíticos foram realizados em fotoreatores fabricados artesanalmente com capacidade máxima adequada a cada solução de corante utilizado, encamisado com paredes de circulação de água ligadas por mangueiras a um banho termostático ($T \sim 15 \text{ }^\circ\text{C}$) para resfriamento e manutenção da temperatura dentro do sistema até $30 \text{ }^\circ\text{C}$. No início de cada processo foram adicionados ao fotoreator a solução sob investigação e o fotocatalisador estudado. O sistema era mantido no escuro por um tempo 40 e 30 minutos, ao utilizar o dióxido de titânio comercial e os compósitos, respectivamente. Para atingir o equilíbrio de adsorção, e, em seguida irradiado com uma lâmpada de vapor de mercúrio (125 W). Alíquotas de 5 mL foram recolhidas em intervalos de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 minutos de reação, transferidas para balões volumétricos de 100 mL e avolumados. Em seguida as amostras foram centrifugadas e analisadas em um espectrofotômetro UV-VIS da Kasuaki no comprimento de onda do corante investigado. A centrifugação foi de 20 e 10 minutos, ao utilizar, como fotocatalisador, dióxido de titânio e os compósitos, respectivamente. Os valores de pH para cada alíquota foram obtidos fazendo-se as leituras em um pHmetro. Foram realizados também testes na ausência de fotocatalisador para avaliar apenas o efeito da radiação. Vale destacar que essa condição foi adotada em todos os testes. O sistema fotocatalítico está ilustrado na figura 9.

Figura 9. Esquema dos testes fotocatalíticos



Fonte: Elaboração GPMC, adaptado pela autora.

4.2.1 Alaranjado de metila

Os testes foram realizados utilizando 350 mL de solução com concentração 50 mg L^{-1} (figura 10), $\text{pH} \sim 5,7$ e massa de fotocatalisador $0,02\text{g}$. As amostras foram analisadas em um comprimento de onda de 460 nm .

Figura 10 solução alaranjado de metila em uma concentração de 50 mg L^{-1}



Fonte: Elaborado pela autora

4.2.2 Azul de metileno

Os testes foram realizados utilizando 450 mL de solução azul de metileno em uma concentração de 100 mg L^{-1} ($\text{pH} \sim 5$) (figura 11). As alíquotas foram analisadas em um comprimento de onda de 664 nm . Os valores de pH para cada alíquota foram obtidos fazendo-se as leituras em um pHmetro

Figura 11 solução azul de metileno em uma concentração de 100 mg L^{-1}



Fonte:Elaborado pela autora

4.2.3 Resíduo de laboratório

Para a elaboração dos resultados deste trabalho, foi importante obter informações dos resíduos gerados nas atividades práticas do Laboratório de Química do Estado sólido que é atrelado ao Departamento de Ciências Exatas e da Terra da Universidade do Estado da Bahia.

No laboratório são realizados experimentos, provenientes das atividades com estudantes de iniciação científica, voluntários, concluintes da graduação e estudantes de mestrado e doutorado. Para este trabalho, os resíduos de corantes textis (figura 12) utilizados foram provenientes de testes fotocatalíticos nos quais foram empregados compósitos baseados em óxido de ferro ou dióxido de titânio, obtidos a partir de biomassa de diversas origens como casca e semente de manga, sementes de cajá e goiaba além de bagaço de cana..

Figura 12 - Ilustração dos resíduos de corantes têxteis dispostos no laboratório de pesquisa Materiais e Catálise (GPMC) UNEB



Fonte:Elaborado pela autora

4.2.4 Tratamentos dos Resíduos

No tocante ao procedimento experimental desenvolvido , optou-se pela filtração à vácuo com intuito de reter as partículas constituintes dos resíduos. Ao ser feito em bancada,utilizou-se de um funil de Buchner, com auxílio de vácuo por causa da viscosidade do líquido.

Foi realizado à sucção com o auxílio da bomba de vácuo e kitassato cujo tamanho é apropriado. No interior do funil, sobre a placa que é perfurada, foi inserido um papel de filtro 100% celulose.

Figura 13 Ilustração dos resíduos separados e tratados para aplicação de testes fotocatalíticos



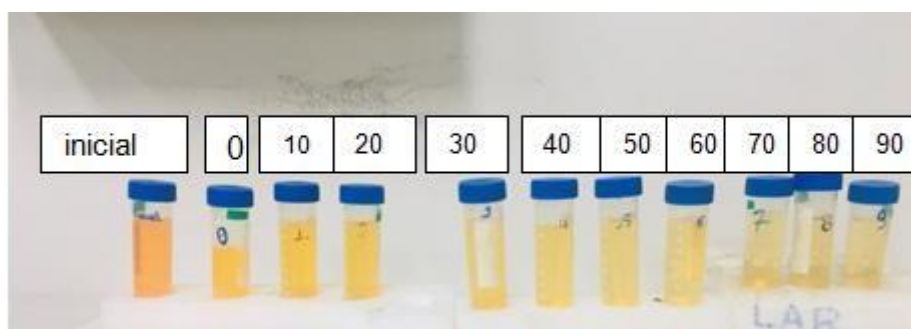
Fonte:Elaborado pela autora

5.RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Teste com alaranjado de metila

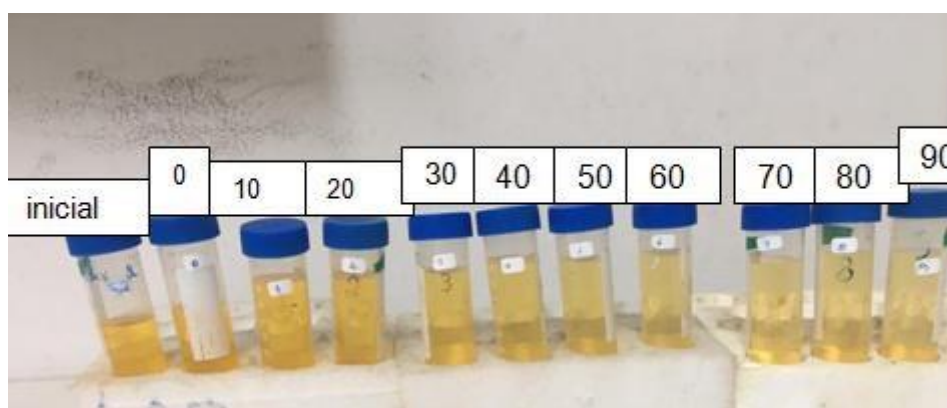
As figuras 14 e 15 ilustram as alíquotas da solução de alaranjado de metila em distintos intervalos tempos de teste fotocatalítico (solução inicial, 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 minutos), para melhor visualização.

Figura 14- Alíquotas da solução de alaranjado de metila recolhidas em distintos intervalos durante a fotocatalise com compósito TiBC1:1200 .



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 15- Alíquotas da solução de alaranjado de metila obtidas em distintos intervalos durante a fotocatalise com o compósito TiBC1:1450



Fonte: Elaborado pela autora

Os sistemas foram mantidos o escuro por um período de 30 minutos para os compósitos e 40 minutos para o dióxido de titânio para que assim atingisse o equilíbrio de adsorção. Este procedimento foi estabelecido em estudos anteriores realizados por Silva (2020) e pode estar associado à presença de material carbonáceo oriundo da biomassa nos compósitos que podendo ter sido gerados

novos centros adsorptivos o que favorece a adsorção do corante, como nos trabalhos desenvolvido por Anastopoulos e colaboradores (2017) usando diferentes materiais e biomassa para serem aplicados em processos de adsorção com objetivo de remoção de poluentes presentes nas águas .

Com a técnica de espectrometria Uv-Vis, foi possível acompanhar a absorvância do corante alaranjado de metila no comprimento de onda de 460 nm. Os dados usados no presente trabalho, foram todos obtidos em triplicata, depois foi realizada uma média aritmética simples destes dados e posteriormente utilizou-se do programa Excell para elaboração dos gráficos de descoloração versus tempo .

Inicialmente foi realizado um teste fotocatalítico empregando 0,2 g do fotocatalisador TiBC1:1200, obtendo-se uma descoloração aproximadamente 90%, confirmando o valor encontrado por SILVA (2020), nas mesmas condições de teste: 91%. Dessa forma, utilizou-se os resultados das demais amostras obtidos no trabalho de SILVA (2020) sendo: TiBC1:2200: 90%; TiBC1:1450:94% e TiBC1:2450:94%, para comparação.

Figura 16. Descoloração do alaranjado de metila empregando as amostras com massa de 0,02 g

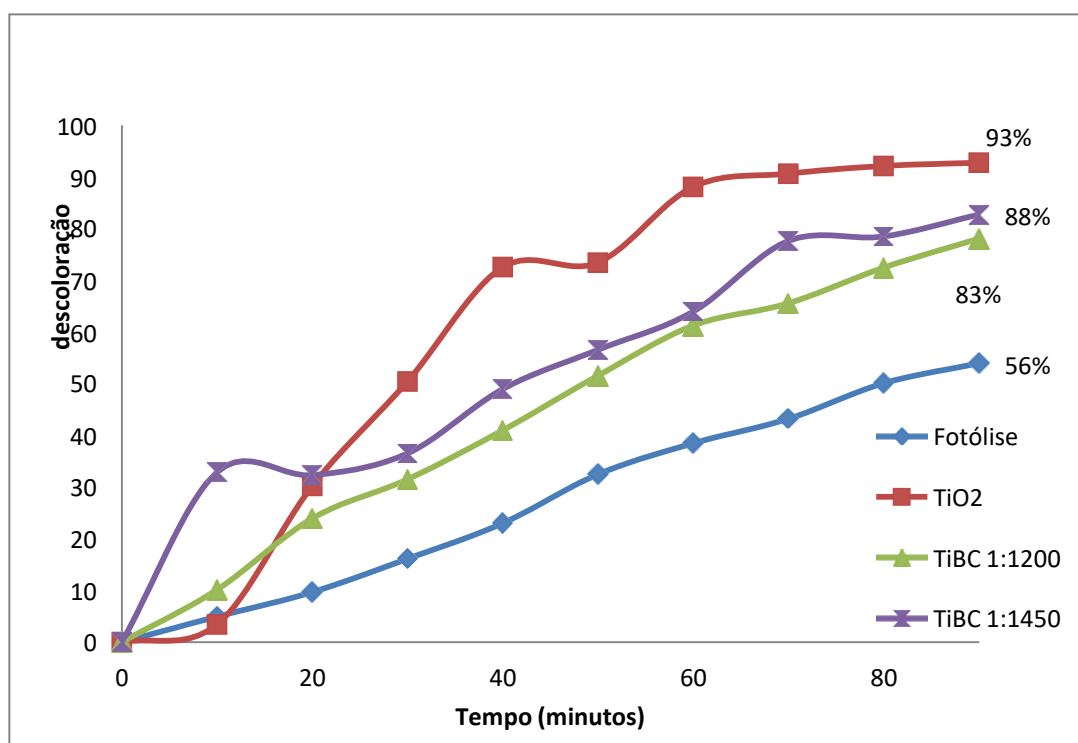
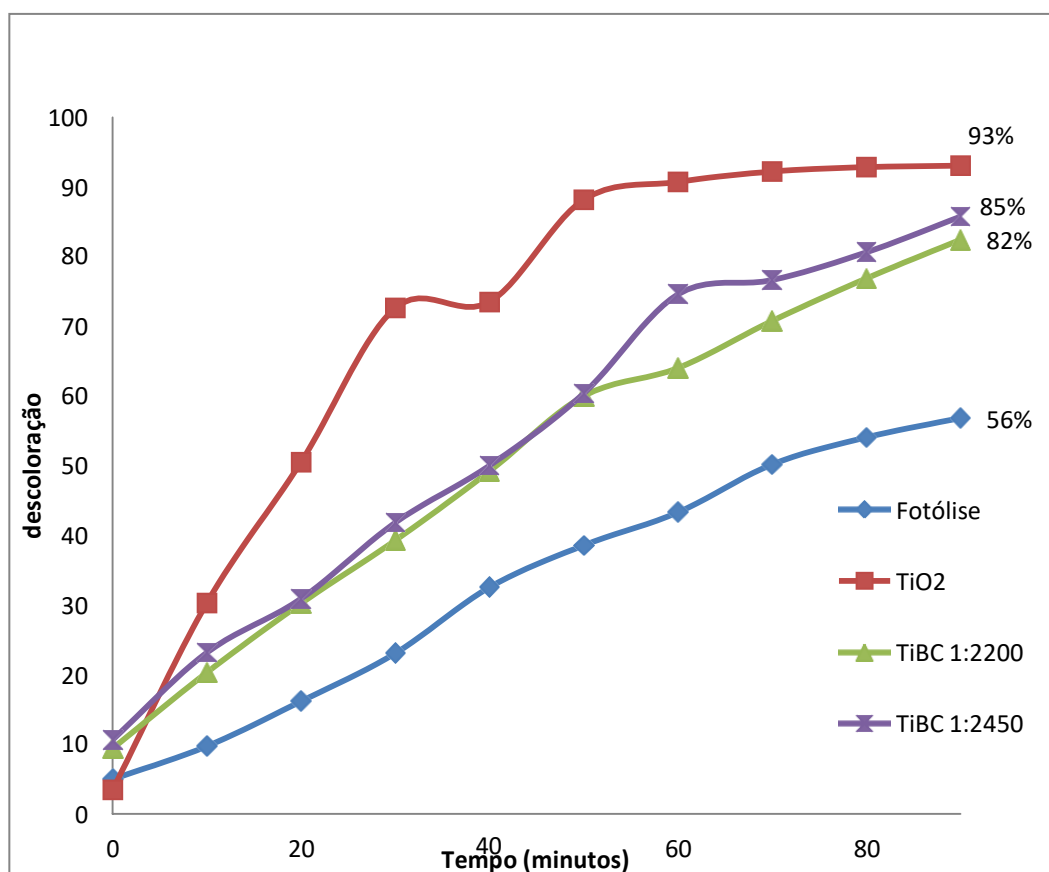


Figura 17 Descoloração do alaranjado de metila as amostras com massa de 0,02 g



Nas condições de fotocatalise empregadas neste trabalho, usando a massa de 0,02 gramas dos fotocatalisadores (figuras 16 e 17), também foram obtidos resultados promissores e significativamente superiores à descoloração na fotólise, após 90 minutos de teste, ao serem empregados os compostos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450 sendo respectivamente 83, 82, 88 e 85%. Demonstrando assim potencial para aplicação na fotocatalise heterogênea, até mesmo com uma massa dez vezes menor, podendo vir a se constituir em um materiais promissores para o sistema investigado. Observa-se que os fotocatalisadores de melhor desempenho são TiBC1:1450 e TiBC1:2450, que apresentaram maiores valores de área específica de área obtidos por SILVA,2020 (ANEXO E) , sendo a área uma propriedade importante na catálise de um modo geral e na fotocatalise, em particular, uma vez que favorece a adsorção das espécies na superfície (SCHMAL, 2011; COLMENARES, LISOWSKI e LOMOL, 2013).

De acordo com SILVA 2020 os valores mais elevados das áreas das amostra TiBC1:1450 e TiBC1:2450, 51 e 95 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, em relação aos compósitos TiBC1:1200, TiBC1:2200 14 e 13 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, respectivamente, podem ser atribuídos à maior temperatura do tratamento térmico da mistura de partida dióxido de titânio/bagaço de cana usada na obtenção do compósito, pois em temperaturas mais elevadas a velocidade de saída de gases produzidos na decomposição da mistura é maior resultando na geração de poros e no aumento da área superficial específica (SILVA, 2020; MONTEIRO e SOUZA, 2016).

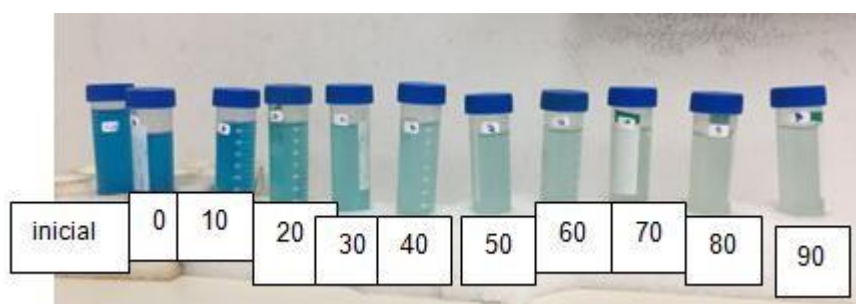
No que se refere à área significativamente menor TiBC1:1450 em relação à TiBC1:2450, de acordo com SILVA (2020) pode ser associada e a uma quantidade maior de TiO_2 (no compósito TiBC1:1450) e, conseqüentemente, ao depósito de mais partículas de dióxido de titânio na superfície do material carbonáceo, bloqueando certamente alguns poros deste material (EL-SALAMONY, et al., 2017).

Comparando os desempenhos dos compósitos TiBC1:1450 e TiBC1:2450, observa-se que a diferença nas porcentagens de descoloração é pequena em relação às diferenças nos valores de área específica. Esse efeito pode ser associado a uma compensação entre os fatores quantidade de dióxido de titânio e área superficial específica.

5.1.2 Testes com corantes azul de metileno

As figuras 18 e 19 ilustram as alíquotas da solução de azul de metileno recolhidas em distintos intervalos durante a fotocatalise com compósitos TiBC1:1200

Figura 18. Alíquotas da solução de azul de metileno com compósitTiBC1:1200 com massa 0,02g



Fonte:Elaborado pela autora

Figura 19. Alíquotas da solução de azul de metileno com composto TiBC1:1450 com massa 0,02g



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 20. Descoloração do azul de metileno empregando de 0,2g das amostras

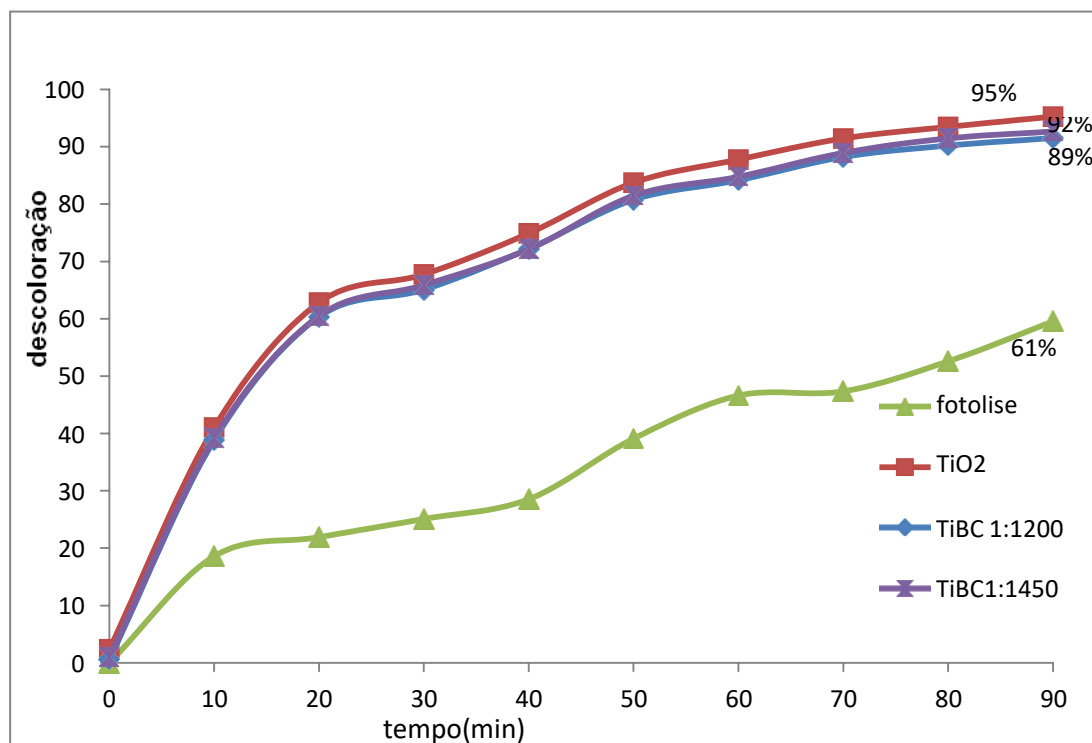


Figura 21. Descoloração do azul de metileno empregando 0,2g das amostras

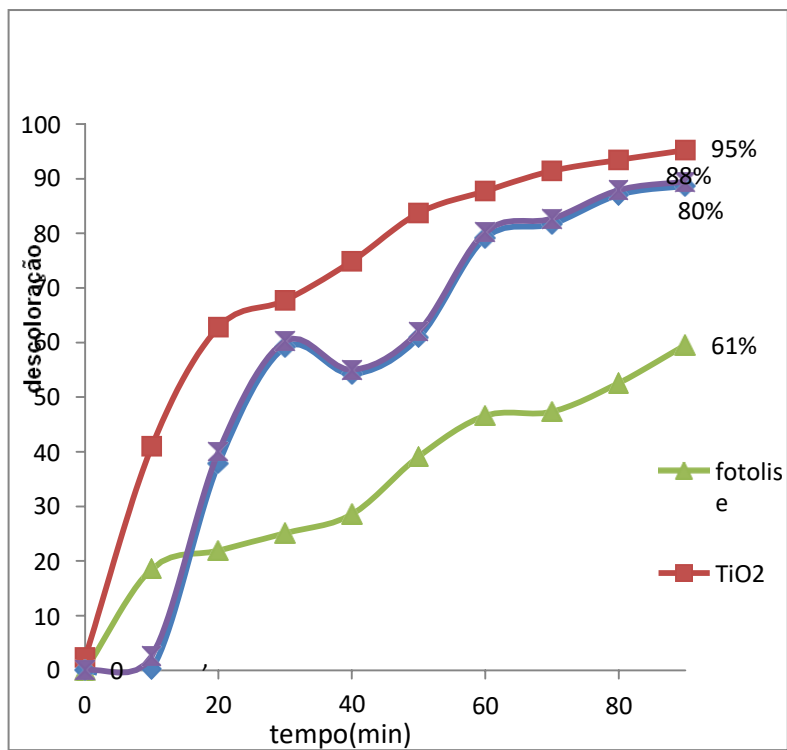


Figura 22. Descoloração do azul de metileno empregando 0,02 g das amostras

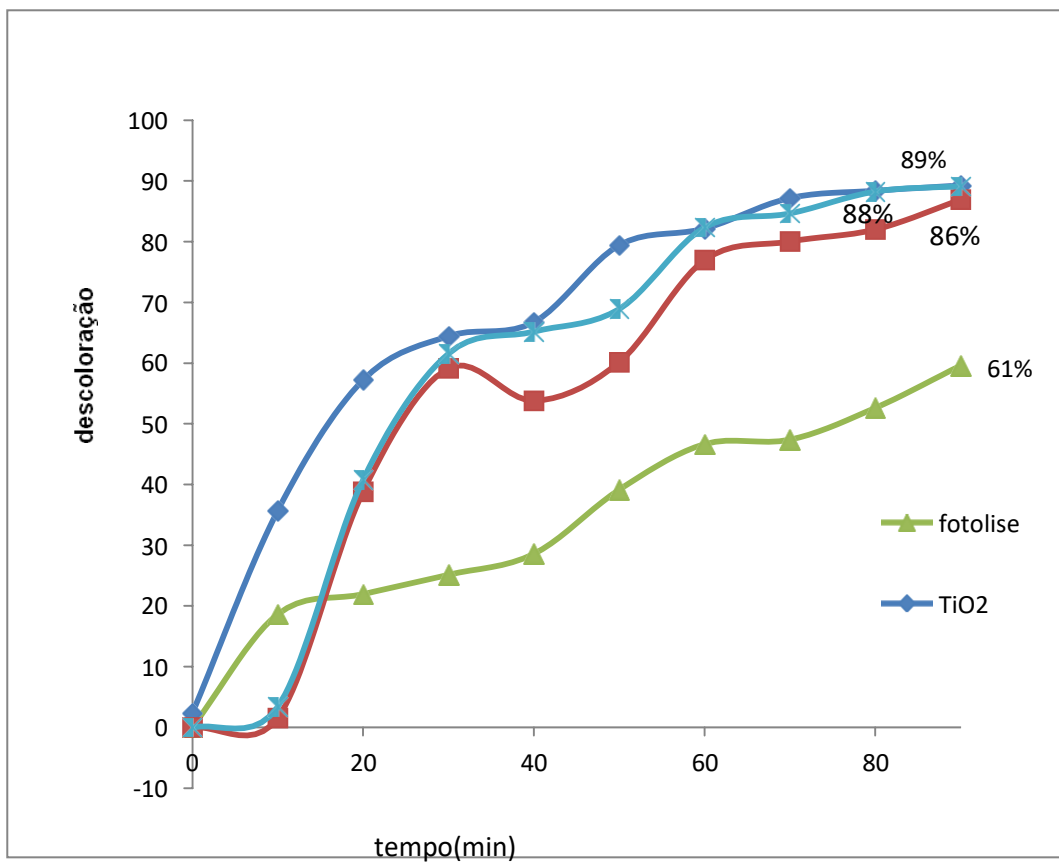
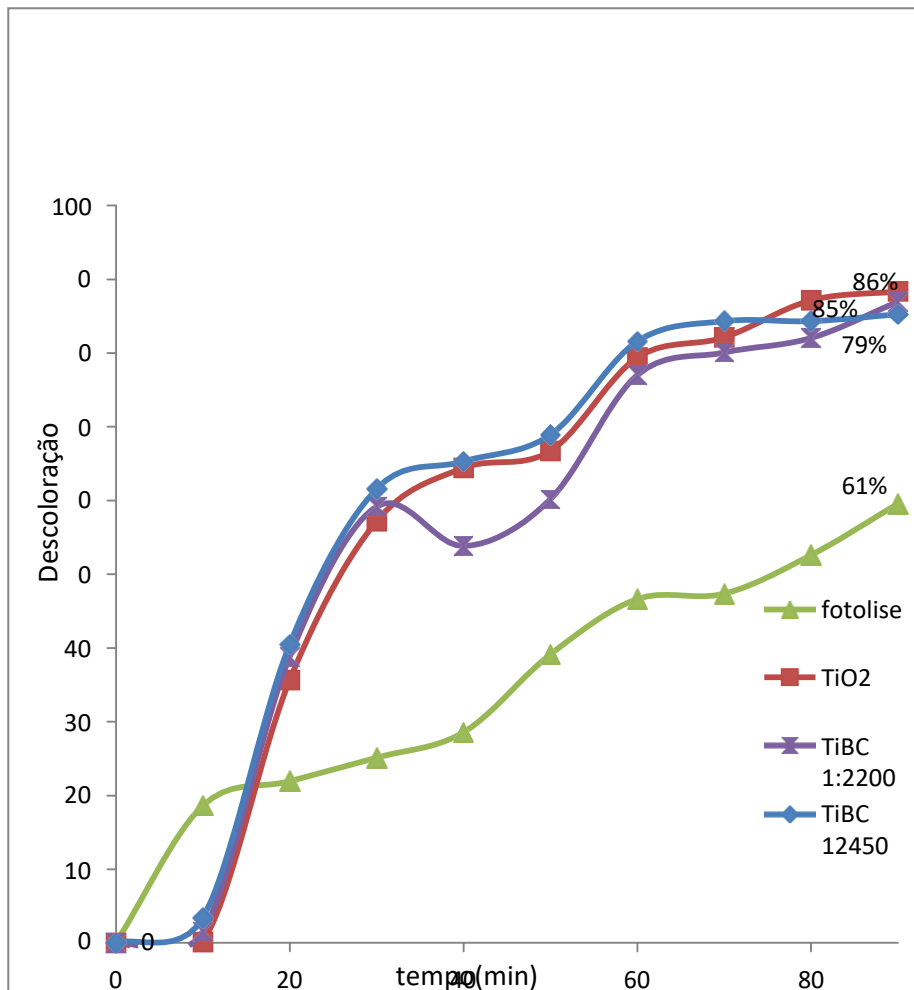


Figura 23. Descoloração do azul de metileno para as amostras com massa de 0,02g



As Figuras 20 a 23, mostram a porcentagem de descoloração em função do tempo. Analisando-se as figuras 20 e 21 que ilustram a fotocatalise da solução do azul de metileno com 0,2 g de fotocatalisador, observa-se que todas as amostras conduziram a uma descoloração significativamente superior à da fotólise, a qual não se utiliza de catalisador, e o processo de degradação do corante ocorre somente por ação da radiação. Comparando os resultados obtidos com o material de referência dióxido de titânio P25, pode-se dizer que o catalisador TiO₂ comercial P25 conduziu a uma maior descoloração do corante, em seguida os compósitos TiBC 1:1200, e 1:1450 cujas curvas são bastante parecidas, porém aos 90 minutos a amostra 1:1450 teve um desempenho superior alcançando 92% de descoloração, enquanto com o fotocatalisador 1:1200 foi alcançada uma descoloração de 89%. O compósito 1:2450 também teve bom resultado evidenciado na descoloração alcançando 88% em 90 minutos de teste, já a

amostra TiBC1:2 não foi tão eficaz quanto aos já citados anteriormente.

Ao analisar a porcentagem de descoloração do corante com a massa de 0,02 gramas desses fotocatalisadores, observa-se que resultados também foram promissores e superiores a descoloração na fotólise, sendo TiBC1:2450, TiBC1:2200, TiBC1:1450, TiBC1:1200 respectivamente 85, 79, 88 e 86 %.

De um modo geral, os resultados dos testes fotocatalíticos do azul de metileno mostram a mesma tendência observada com o alaranjado de metila no que se refere a temperatura de tratamento térmico das misturas dióxido de titânio biomassa e a quantidade do dióxido de titânio nos compósitos, cujas explicações já foram apresentadas.

Todos os compósitos apresentaram um desempenho inferior ao dióxido de titânio, tanto nos testes fotocatalíticos do azul de metileno quanto do alaranjado de metila entretanto com o azul de metileno a diferença foi menor e os resultados são mais promissores. Deve-se considerar também que o sistema com TiO_2 possui a necessidade de um tempo maior para a adsorção do corante conforme discutido antes.

Uma possível explicação relaciona-se aos mais baixos valores de *band gap*, a exemplo daqueles apresentados pelas amostras TiBC1:1200, e TiBC1:200 (ANEXO F), de acordo com SILVA (2020). Entretanto menores energias de *band gap* possibilita o emprego do material na região do visível, podendo ser aplicada com fontes de radiação mais viáveis tanto economicamente quanto ambientalmente. Ressalta-se, entretanto, que os valores da energia do *band gap* das amostras TiBC1:1450, e TiBC1:2450 não foram determinados tendo em vista que as curvas dos espectros UV-Vis desses materiais exibiram perfis que poderiam conduzir a erros nos cálculos (SILVA, 2020) .

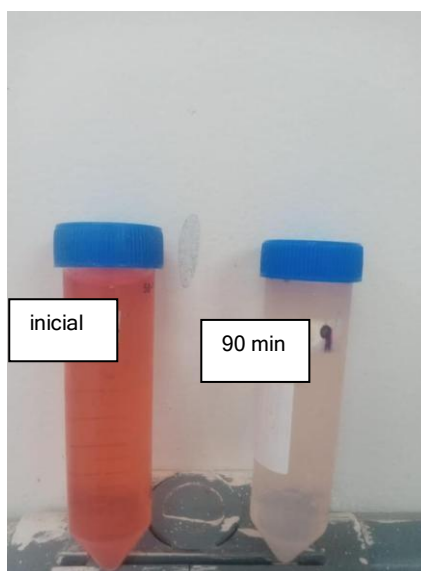
5.1.3. Teste com resíduos produzidos no laboratório

Considerando os resultados com os sistemas modelo alaranjado de metila e azul de metileno, associado à necessidade de avaliar os fotocatalisadores em condições mais próximas de efluentes reais, foram realizados testes com resíduos dos respectivos corantes, gerados no laboratório, assim como mistura dos dos resíduos

5.1.4 Resíduos de alaranjado de metila

A figura 24 retrata a solução inicial e após 90 minutos de teste utilizando o composto 1:1450.

Figura 24 Fotos obtidas no início (1) e no final (2) do teste fotocatalítico utilizando composto 1:1450



Fonte:Elaborado pela autora

Figura 25. Descoloração do resíduo de laboratório de alaranjado de metila usando 0,02g

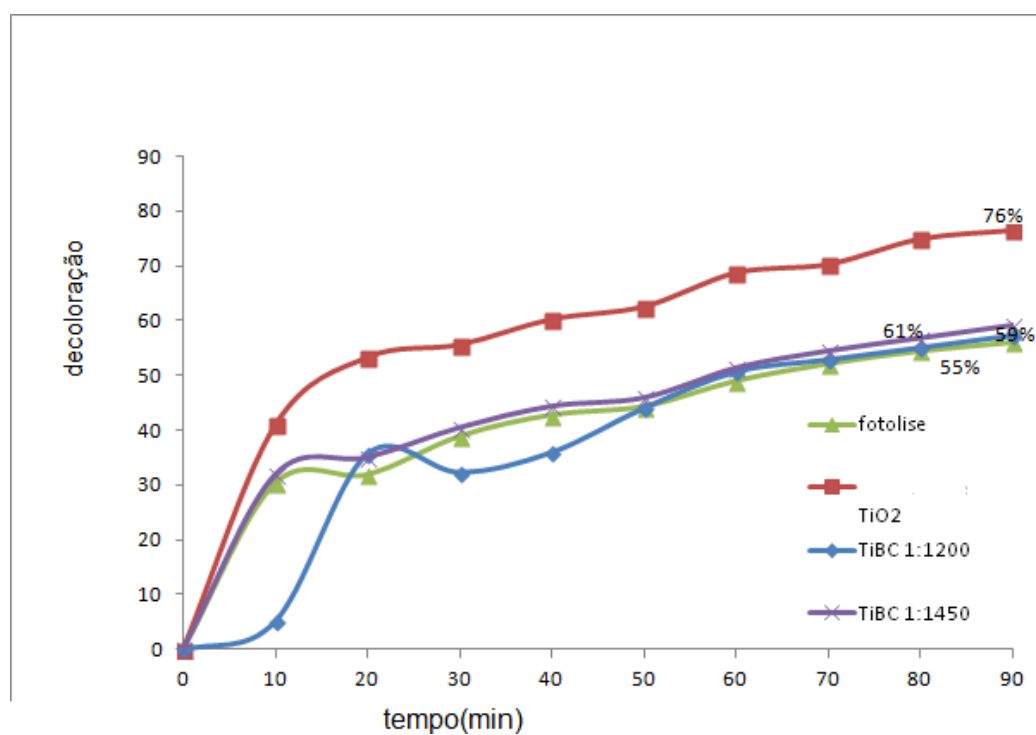
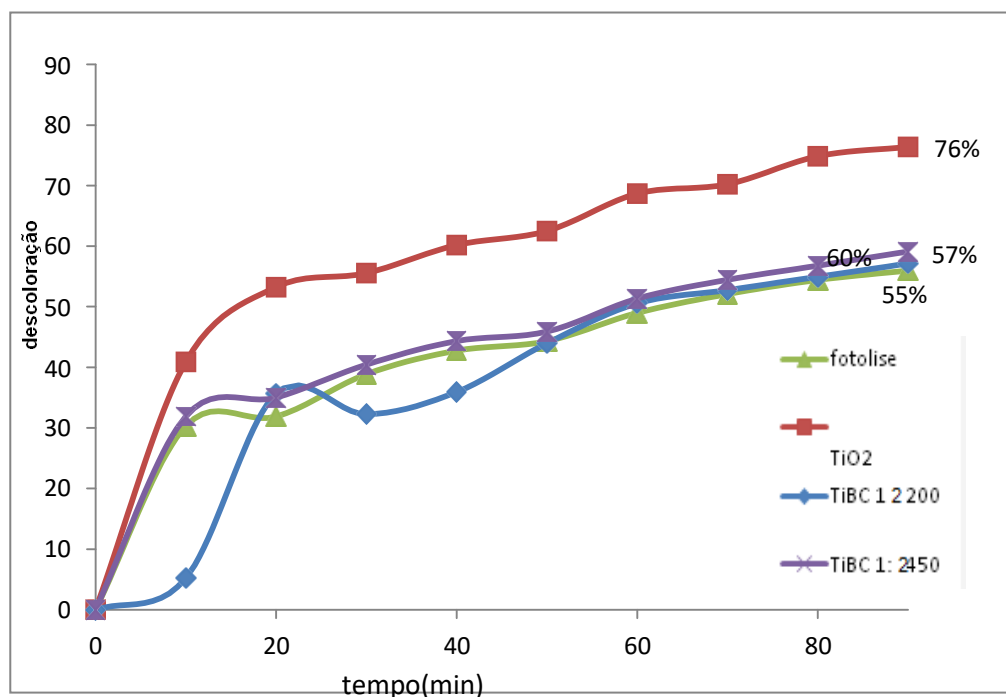


figura 26. Descoloração do residuo de laboratório de alaranjado de metila 0,02g



Como mostrado nas figuras 25 e 26, as percentagens descoloração do resíduo do AlaM foram superiores à fotólise (55%), quando usados os compósitos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450 sendo respectivamente 59,57,61e 60% e o TiO₂ aproximadamente 76% em 90 minutos de teste. Esses valores são aproximadamente 20% inferiores aos valores obtidos na descoloração em relação a solução de alaranjado de metila usada como modelo. Essas reduções sugerem que ocorre uma inativação e/ou saturação da superfície por outras espécies e/ou pequenas partículas de fotocatalisadores usados em testes anteriores que não foram eliminados do resíduo. (Caldas,2019).

5.1.5 Testes com resíduos de laboratório de azul de metileno

Ao recolher as alíquotas dos testes como resíduo do azul de metileno, observou-se que uma parte considerável do corante permaneceu adsorvido no fotocatalisador que adquiriu a coloração da mesma cor do corante proveniente do resíduo como ilustrado na figura 27, o que não era esperado, considerando os outros testes envolvendo a solução do azul de metileno e alaranjado de metila nos quais esse fenômeno não foi observado. Este comportamento pode ter sido consequência da heterogeneidade do resíduo e de pequenas partículas em suspensão que podem ter formado aglomerados com as partículas do fotocatalisador alterando as propriedades.

Figura 27. Descoloração do resíduo de laboratório azul de metileno com compósito TiBC1:1450



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 28. Descoloração usando resíduos de laboratório de azul de metileno com 0,02g

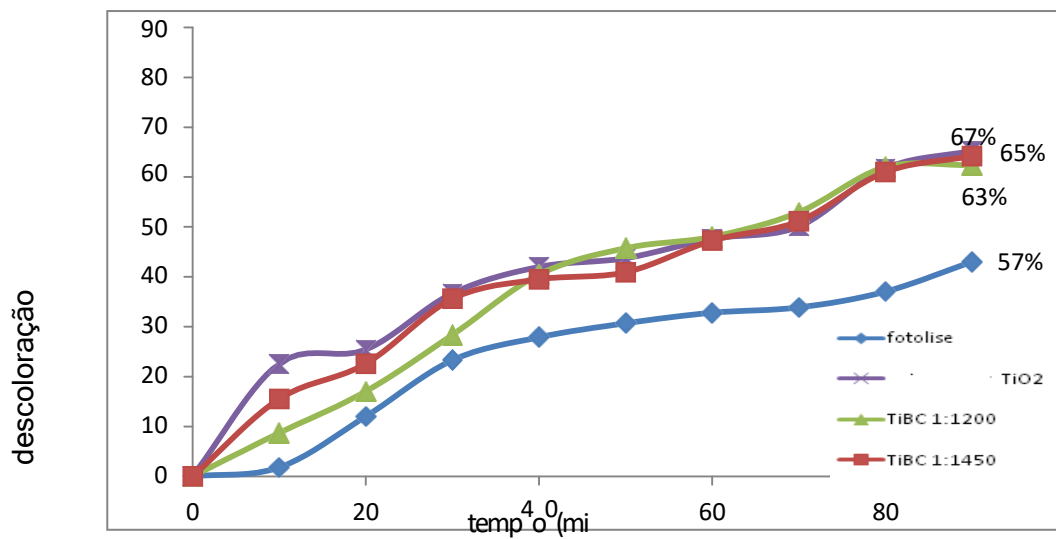
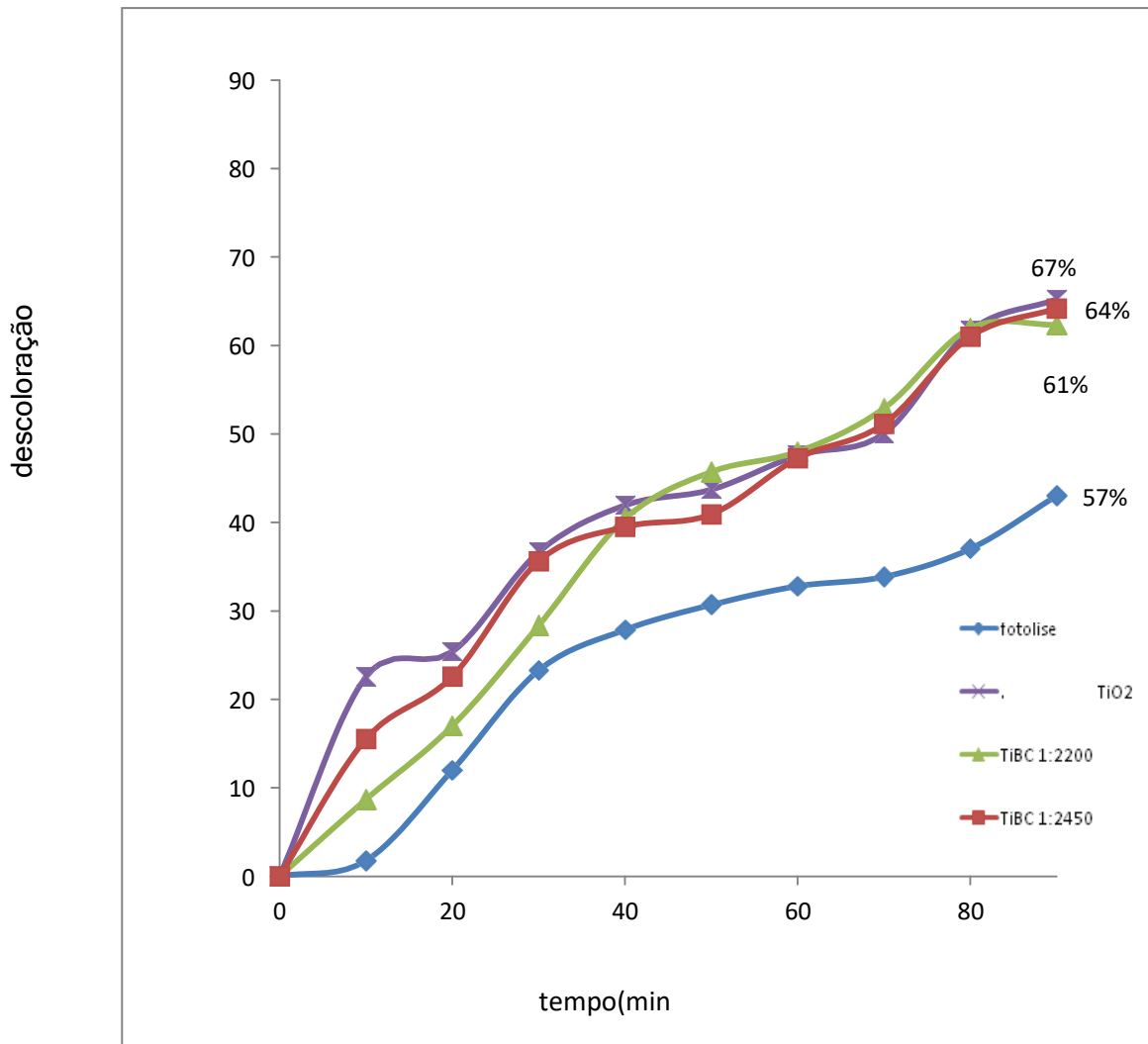
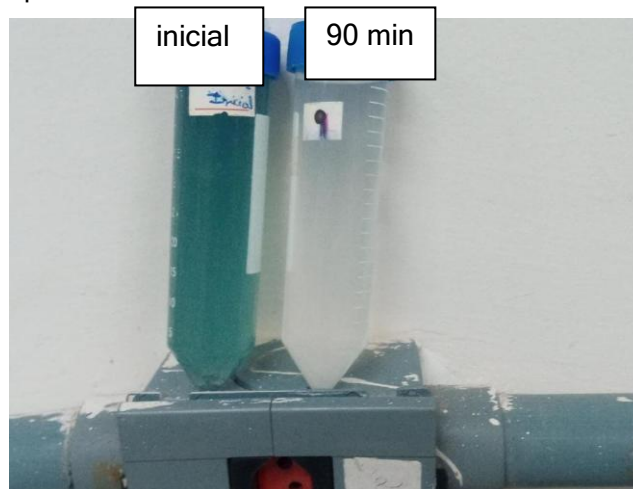


Figura 29. Descoloração para as amostras com 0,02g usando resíduos de laboratório de azul de metileno



Ao observar as figuras 28 e 29 a porcentagem de degradação aumenta gradativamente com o aumento de temperatura de obtenção do compósito. A descoloração do resíduo de azul de metileno na fotólise (57%) foi menor em comparação com os compósitos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450 sendo respectivamente 63, 61, 65 e 64%. Esses valores são próximos ao observado com o TiO₂ (67%). A exemplo do que se observou com os testes fotocatalíticos do resíduo do alaranjado de metila, foi registrada uma redução da porcentagem de descoloração em relação a solução do corante AM usada como modelo. A figura 30 retrata as soluções de resíduos de AM em distintos intervalos de tempo de teste (solução inicial e 90 minutos) antes e após a centrifugação) utilizando os fotocatalisadores TiBC1:1450

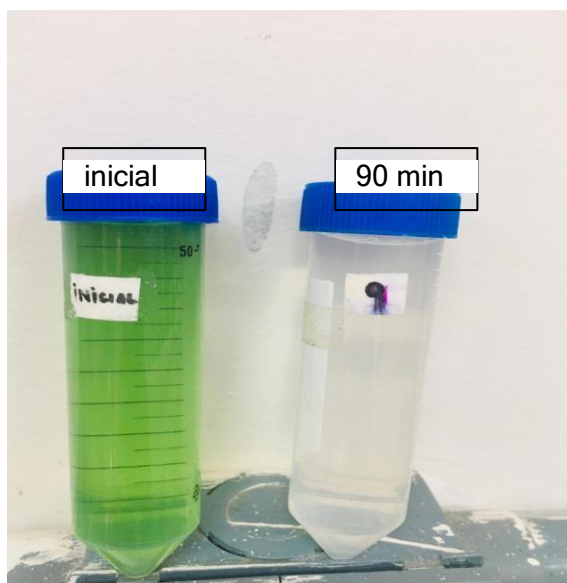
Figura 30. Fotos obtidas no início (1) e no final (2) do teste fotocatalítico utilizando composto 1:1450



Fonte: Elaborada pela autora

5.2. Teste com mistura de resíduos de laboratório de alaranjado de metila e azul de metileno

Figura 31. descoloração da mistura de residuo Alaranjado de metila com azul de metileno



Fonte: Elaborada pela autora

De acordo com os testes realizados no trabalho de com uma massa de 0,02 gramas dos materiais, utilizando o comprimeto de onda do azul de metileno, fato este que pode estar associado a sua absorção máxima na região do visível(664nm) notou-se que a porcentagem de descoloração da mistura dos resíduos quando utilizado os compósitos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450, foram promissores e superiores a descoloração na fotólise, sendo respectivamente 51, 50, 60 e 58%.

Figura 32. Descoloração da mistura de resíduos de laboratório de azul de metileno e alaranjado de metila com massa de 0,02g

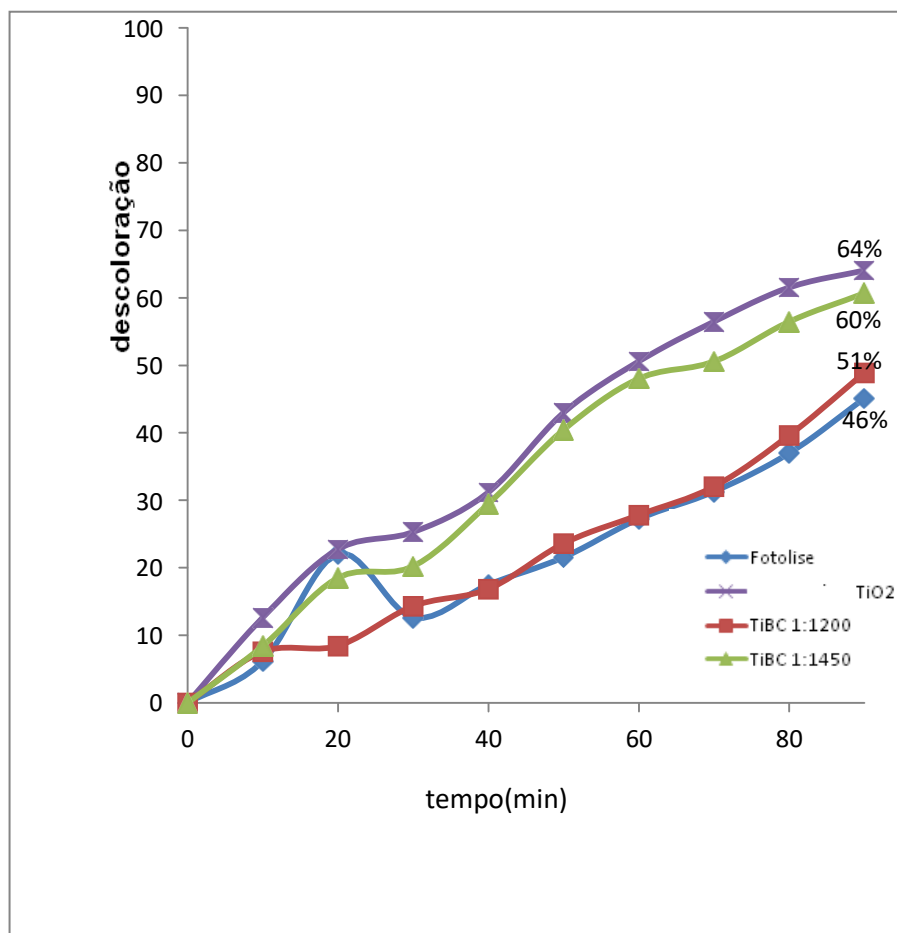
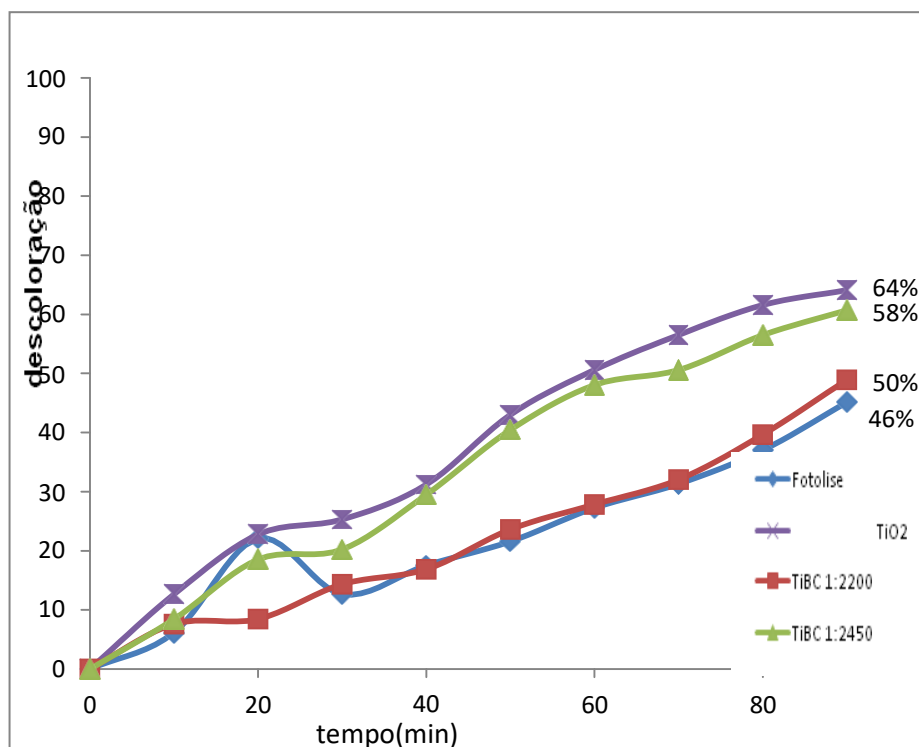


Figura 33. Descoloração da mistura de resíduos de laboratório de azul de metileno e alaranjado de metila com massa de 0,02g .



As Figura 32 e 33 revelam que o processo de fotocatalise heterogênea foi eficiente para a degradação dos resíduos de corantes textéis , uma vez que obteve valores superiores a fotólise, centrada em torno de 46%. Verifica-se que, nos testes não há uma diferença significativa entre as duas proporções dos compósitos, no entanto, nota-se que, a partir do compósito TiBC :1:1200 e TiBC 1:1450, a fotocatalise heterogênea leva a uma maior descoloração em relação à fotólise e os compósitos TiBC :1:2200 e TiBC 1:2450.

As atividades catalíticas das amostras no processo de degradação do corante orgânico também foram analisadas usando o modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood de pseudo-primeira ordem, descrito na Equação 1, em que o tempo de reação e a concentração são consideradas. (ROCHA, et al, 2014)

$$-\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = kat \quad (1)$$

Onde C representa a concentração, C_0 a concentração inicial, t o tempo em minutos e k a constante aparente de pseudo-primeira ordem que pode ser encontrada pela inclinação da reta (C_0/C) em função de t.

Os valores obtidos da constante de velocidade aparente, estão descritos na Tabela 3, reafirmando que a maior atividade catalítica é da amostra 1:1450 e 1:2450 em todos os testes com corantes e resíduos empregados neste trabalho. As relações lineares (R^2) indicam que o modelo empregado está adequado, exceto ao empregar o dióxido de titânio comercial, cujos valores de R^2 são próximos a 0,6.

Tabela 2 . Valores das constantes de velocidade obtidas através da equação de Langmuir-Hinshelwood

Corante Alaranjado de metila

| Amostras | $k_{ap} \times 10^3 \text{ min}^{-1}$ | |
|------------|---------------------------------------|--------|
| TiBC1:1200 | 21,8 | 0,9725 |
| TiBC1:1450 | 26,9 | 0,9204 |
| TiBC1:2200 | 21,4 | 0,9747 |
| TiBC1:2450 | 26,5 | 0,9322 |
| TiO2 | 29,1 | 0,6582 |

Corante azul de metileno

| Amostras | $k_{ap} \times 10^3$ | R2 |
|------------|----------------------|--------|
| TiBC1:1200 | 22,5 | 0,9730 |
| TiBC1:1450 | 27,2 | 0,9287 |
| TiBC1:2200 | 22,5 | 0,9780 |
| TiBC1:2450 | 27,2 | 0,9390 |
| TiO2 | 30,2 | 0,6593 |

Resíduo de alaranjado de metila

| Amostras | $k_{ap} \times 10^3$ | R2 |
|------------|----------------------|--------|
| TiBC1:1200 | 18,8 | 0,8820 |
| TiBC1:1450 | 20,9 | 0,8406 |
| TiBC1:2200 | 18,4 | 0,8832 |
| TiBC1:2450 | 20,2 | 0,8425 |
| TiO2 | 23,1 | 0,5782 |

Resíduo de azul de metileno

| Amostras | $k_{ap} \times 10^3$ | R2 |
|------------|----------------------|--------|
| TiBC1:1200 | 19,1 | 0,8920 |
| TiBC1:1450 | 21,1 | 0,8506 |
| TiBC1:2200 | 18,9 | 0,8932 |
| TiBC1:2450 | 20,9 | 0,8525 |
| TiO2 | 23,6 | 0,5882 |

Mistura de Resíduos alaranjado de metila com azul de metileno

| Amostras | $k_{ap} \times 10^{-3}$ | R ² |
|------------------|-------------------------|----------------|
| TiBC1:1200 | 17,1 | 0,7820 |
| TiBC1:1450 | 18,2 | 0,7506 |
| TiBC1:2200 | 16,1 | 0,7912 |
| TiBC1:2450 | 17,9 | 0,7515 |
| TiO ₂ | 23,6 | 0,4708 |

Na tabela 3 são mostrados os valores de pH para uma melhor visualização. Pode-se inferir que os compósitos na proporção 1:2 existe um leve aumento do pH. Isso pode ser decorrente a maior quantidade de bagaço de cana que possui basicidade por causa dos constituintes como hemicelulose, celulose e principalmente a lignina que é formada por três precursores básicos, que são os álcoois trans-p-cumarílico, trans-coniferílico e trans-sinapílico. (RODRIGUES, 2016)

Tabela 3 . Valores do pH para os compósitos sintetizados Alaranjado de metila

| Amostras | pH |
|------------|------|
| TiBC1:1200 | 5,88 |
| TiBC1:1450 | 5,33 |
| TiBC1:2200 | 6,15 |
| TiBC1:2450 | 6,36 |

Resíduo Alaranjado de metila

| Amostras | pH |
|------------|------|
| TiBC1:1200 | 5,21 |
| TiBC1:1450 | 5,12 |
| TiBC1:2200 | 6,0 |
| TiBC1:2450 | 6,11 |

Azul de metileno

| Amostras | pH |
|------------|------|
| BC1:1200 | 5,91 |
| TiBC1:1450 | 5,39 |
| TiBC1:2200 | 6,19 |
| TiBC1:2450 | 6,31 |

Resíduo Azul de metileno

| Amostras | pH |
|-----------------|-----------|
| TiBC1:1200 | 5,03 |
| TiBC1:1450 | 5,1 |
| TiBC1:2200 | 6,14 |
| TiBC1:2450 | 6,17 |

Mistura de Resíduo Azul de metileno com alaranjado de metila

| Amostras | pH |
|-----------------|-----------|
| TiBC1:1200 | 4,7 |
| TiBC1:1450 | 4,9 |
| TiBC1:2200 | 5,92 |
| TiBC1:2450 | 5,97 |

5.3 Teste de Adsorção resíduos de laboratório

A adsorção é uma etapa fundamental no processo fotocatalítico, uma vez que a adsorção durante o processo de fotocatalise fornece as espécies que fazem parte do mecanismo da reação com a lacuna e o elétron excitado, gerando os radicais livres, que são responsáveis pela degradação do corante que pode ser considerado poluente orgânico (Bora et al, 2017). Adicionalmente, a combinação do processo de adsorção com a fotocatalise pode apresentar uma via necessária para eliminar a carga orgânica presente na solução. (DA SILVA, 2017). Isso se dá pelo mecanismo direto de fotodegradação . posto isso, foram realizados testes de adsorção dos resíduos de AlaM, Am e mistura dos dois nas mesmas condições da fotocatalise na ausência de radiação empregando os compostos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450.

Os testes de adsorção demonstraram, que 30 min é tempo suficiente para atingir o equilíbrio, sendo esse o tempo adotado nos testes fotocatalíticos mantendo o sistema no escuro por 30 minutos .(Figuras 34 à 45).

Figura 34. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório azul de metileno e a amostra TiBC 1:1200

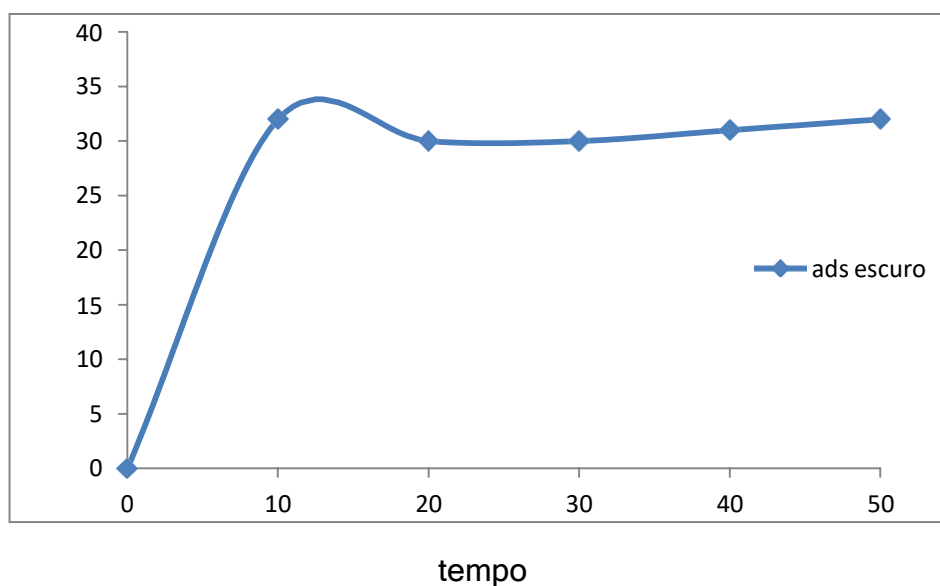


Figura 35. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório azul de metileno e amostra TiBC 1:1450

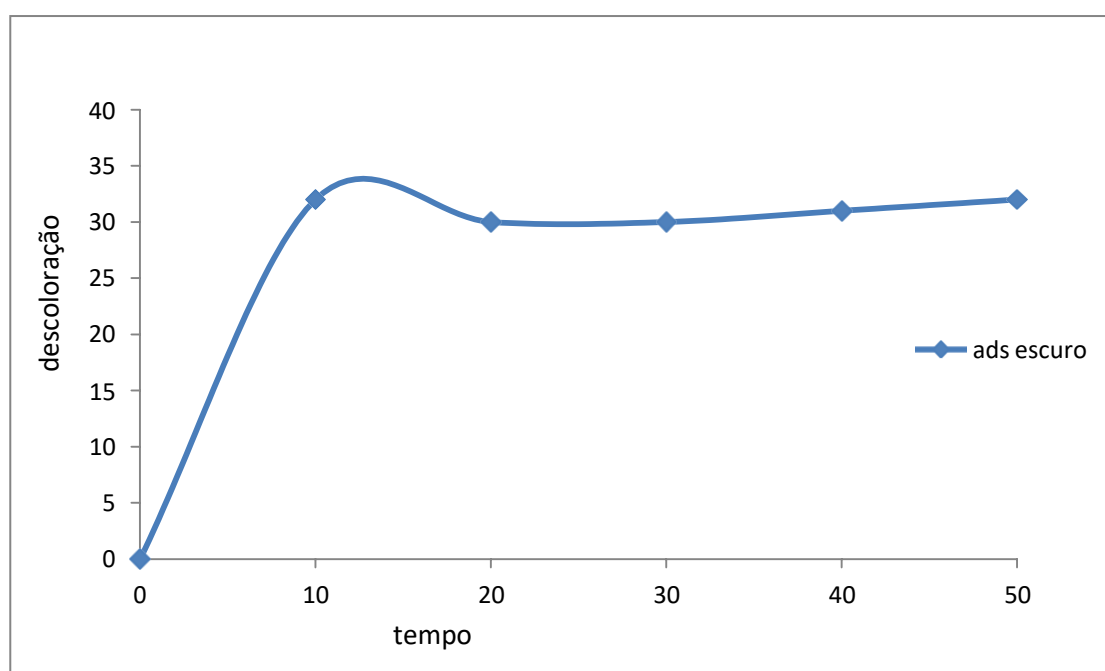


Figura 36. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório azul de metileno e amostra TiBC 1:2200

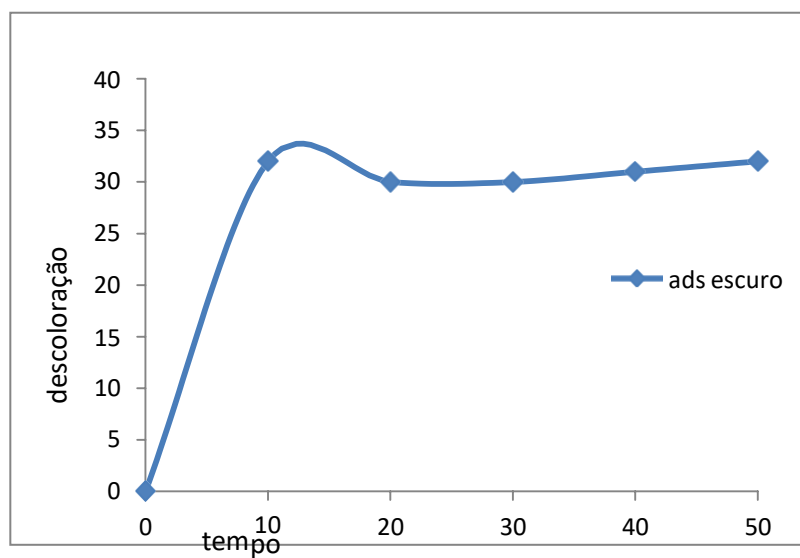


Figura 37. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório azul de metileno e amostra TiBC 1:2450

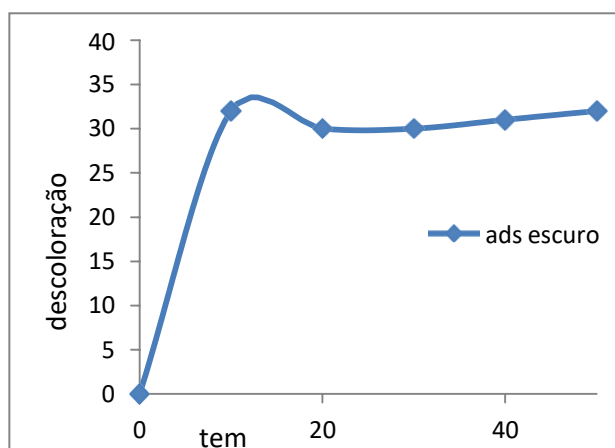


Figura 38 Curva de adsorção do sistema com resíduo de laboratório alaranjado de metila e amostra TiBC 1:1200

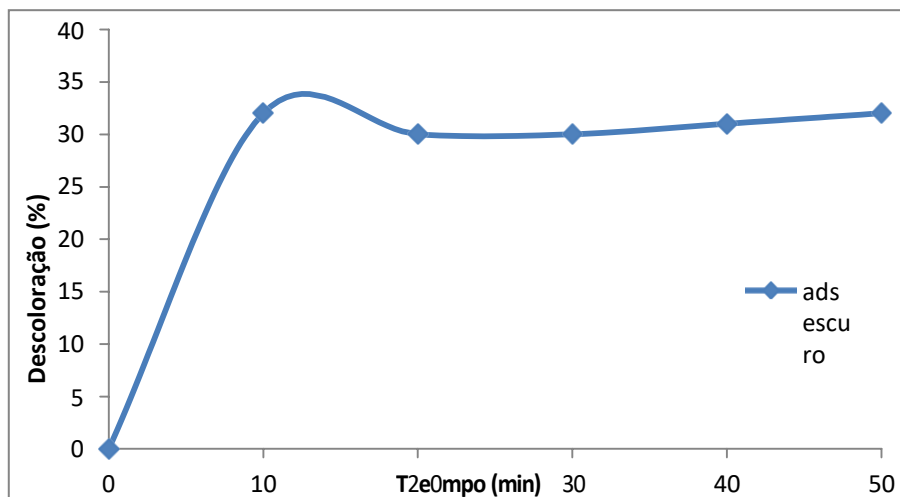


Figura 39. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório alaranjado de metila e amostra TiBC 1:1450

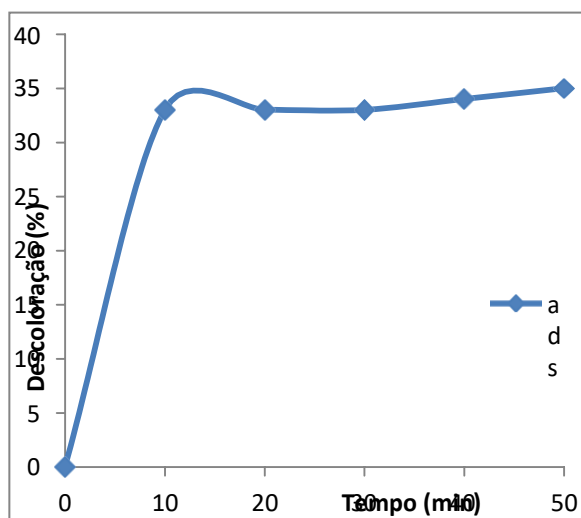


Figura 40. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório alaranjado de metila e amostra TiBC 1:2200

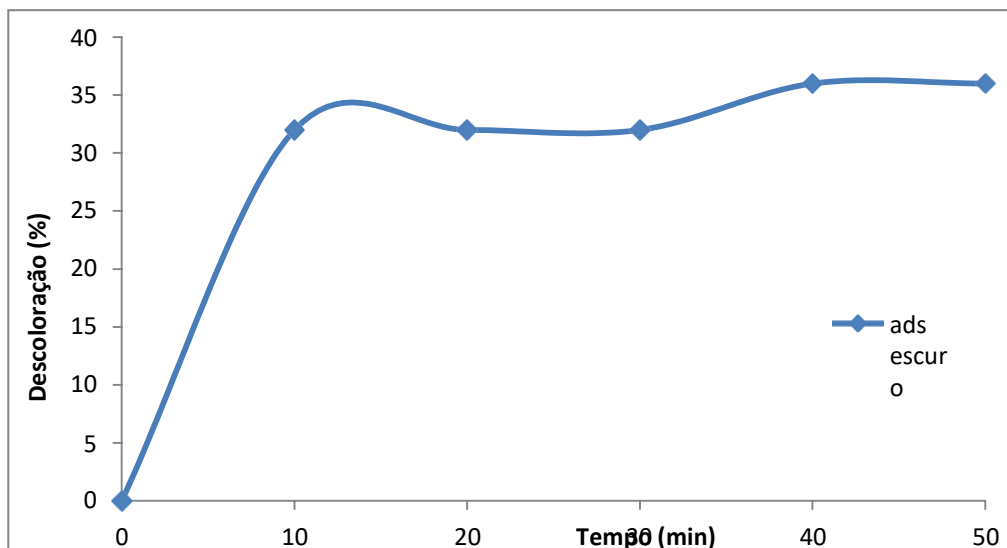


Figura 41. Curva de adsorção do sistema resíduo de laboratório alaranjado de metila e amostra TiBC 1:2450

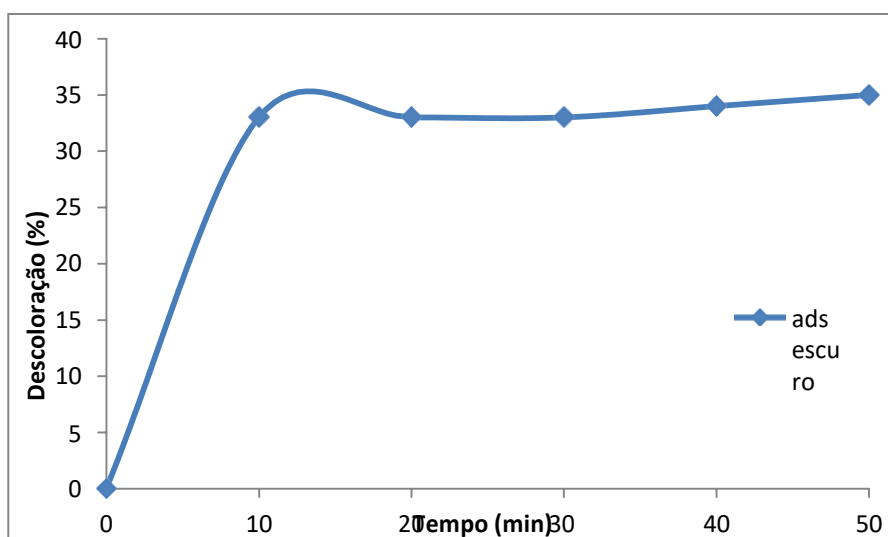


Figura 42. Curva de adsorção do sistema mistura resíduo de laboratório alaranjado de metila + azul de metileno e amostra TiBC 1:1200

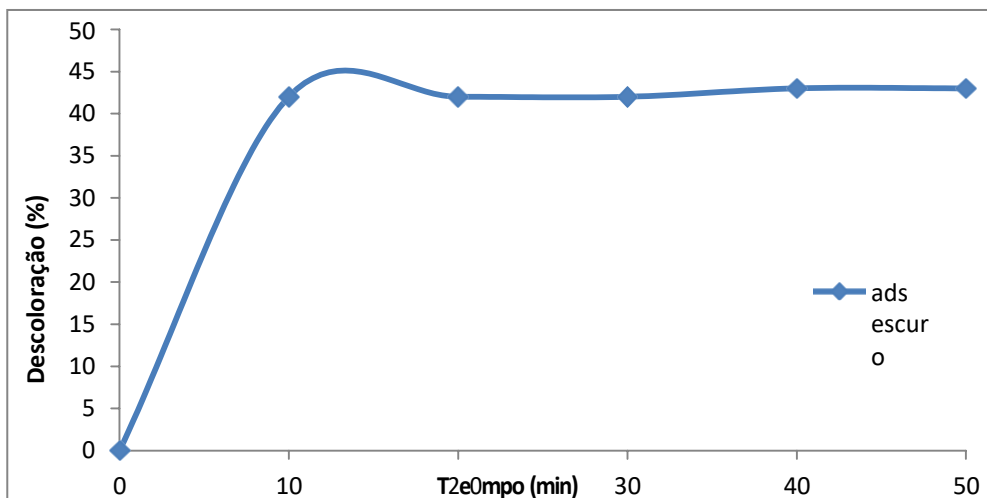


Figura 43. Curva de adsorção do sistema mistura resíduo de laboratório alaranjado de metila + azul de metileno e amostra TiBC 1:1450

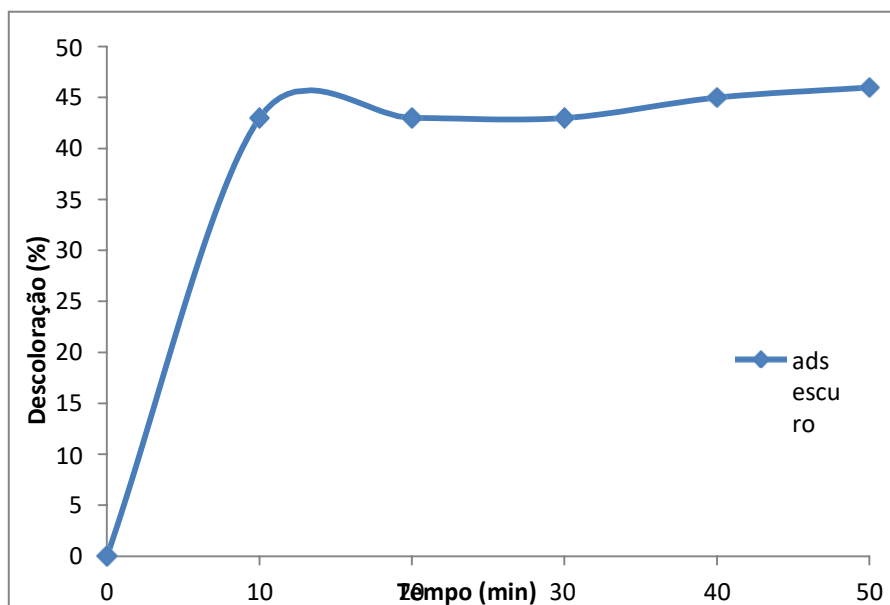


Figura 44. Curva de adsorção do sistema com mistura resíduo de laboratório alaranjado de metila + azul de metileno e amostra TiBC 1:2200

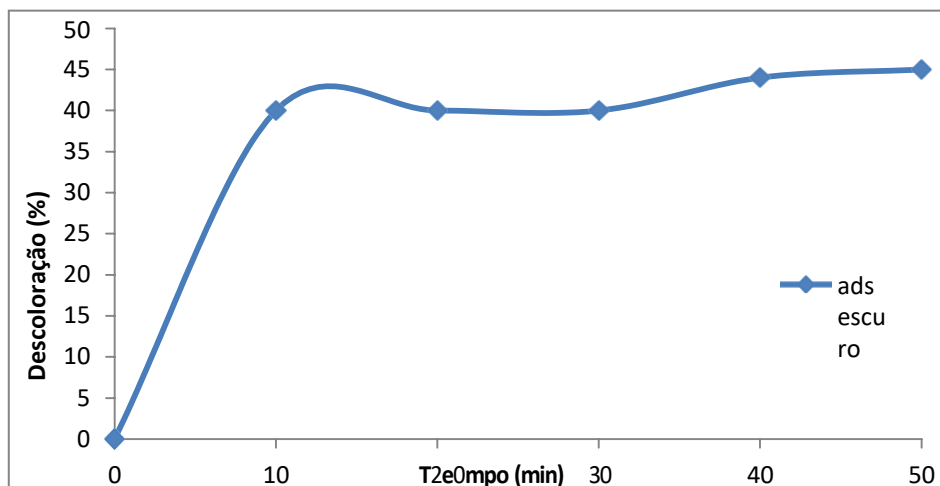
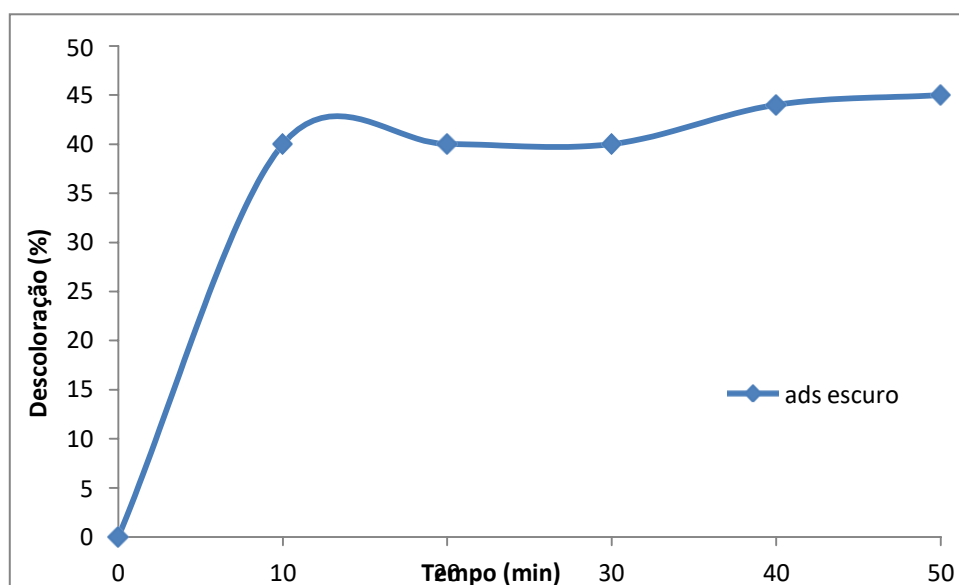


Figura 45. Curva de adsorção do sistema mistura resíduo de laboratório alaranjado de metila + azul de metileno e amostra TiBC 1:2450

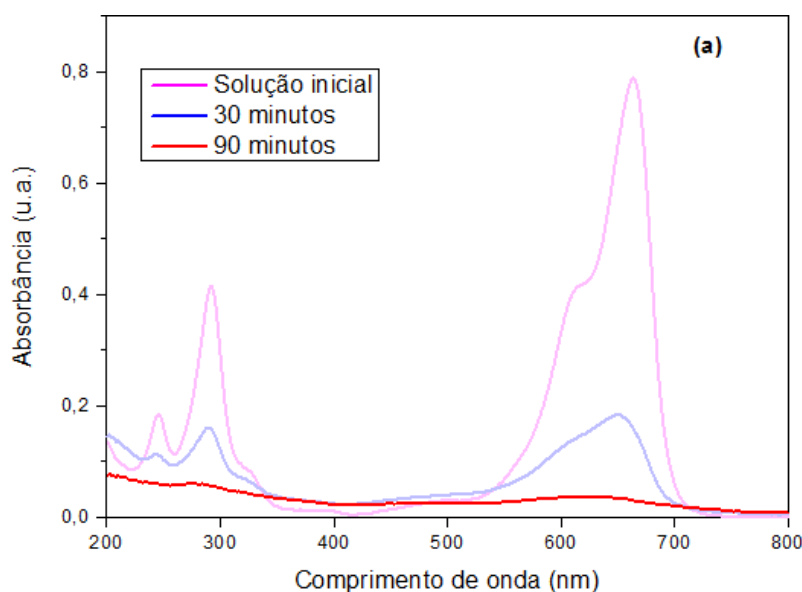


5.4. Espectroscopia de Absorção no Uv-Vis

Os resultados obtidos através da espectroscopia de absorção no UV-Vis numa faixa de 200 a 800 nm do teste fotocalítico provenientes das misturas de resíduos alaranjado de metila e azul de metileno nos tempos 0, 30 e 90 min são mostrados na Figura 46. De acordo com o espectro de absorção dos corantes mencionados

existem uma banda máxima em 666 nm e um ombro em 607 nm, que estão associados a grupos cromóforos (grupo da ponte de sulfeto e nitrogênio) que fazem parte da estrutura do corante. Pode-se perceber que houve uma redução significativa nessas bandas sugerindo que existe uma degradação fotocatalítica dos corantes constituintes dos resíduos.

Figura 46. Espectro de absorção UV-Vis com mistura de resíduos de laboratório de corante alaranjado de metila e azul de metileno com a amostra TiBC 1:1450



5.5. Separação dos semicondutores da solução

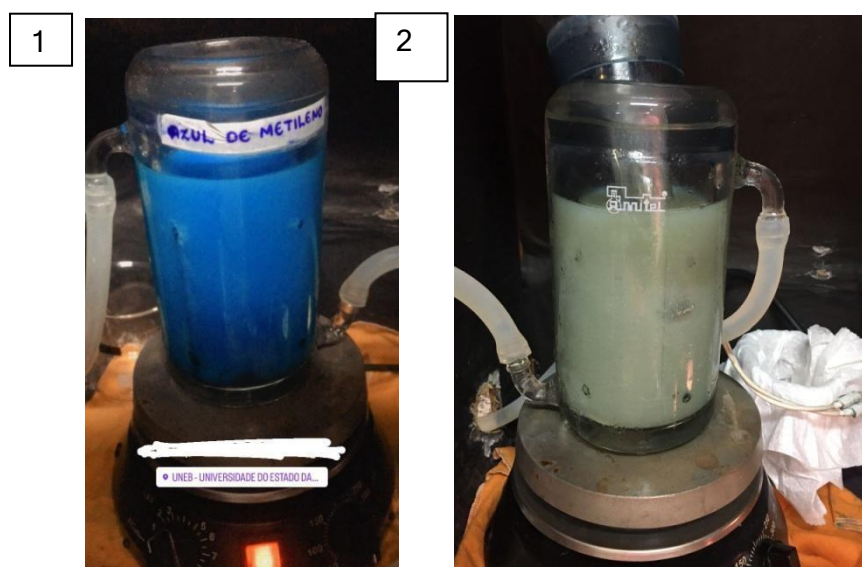
Apesar dos ótimos valores de descoloração adquiridos empregando o semicondutor TiO_2 comercial, alguns inconvenientes a exemplo do maior tempo de adsorção necessário (40 minutos), em relação aos compósitos (30 minutos) e a difícil sedimentação das suas partículas depois dos testes fotocatalíticos, objetivando a separação, foram observados neste trabalho assim como no de Silva, 2020.

Isso pode ser atribuído com a relação com uma quantidade grande de partículas do sólido que ficam dispersas na solução, devido à baixa densidade, deixando-a com um aspecto esbranquiçado e turvo, sendo imprescindível um maior tempo de centrifugação (quando comparado aos compósitos).

Foram feitos registros fotográficos com intuito de comparação das soluções

tratadas utilizando diferentes semicondutores antes e após o procedimento de centrifugação. As figuras 47e 48 referem-se as fotos no início do teste fotocatalítica (foto 1) e após o término do procedimento (foto 2) utilizando o dióxido de titânio e o compósito TiBC1:1450, respectivamente. É importante ressaltar que a ilustração do teste aplicando o sólido TiBC1:1200 é compatível com os demais.

Figuras 47. Fotos obtidas no início (1) e no final (2) do teste fotocatalítico utilizando TiO_2 como semicondutor



Fonte:Elaborada pela autora

Figuras 48. Fotos obtidas no início (1) e no final (2) do teste fotocatalítico utilizando TiBC1:1450 como emicondutor



Fonte:Elaborada pela autora

6. CONCLUSÃO

As condições de fotocatalise do alaranjado de metila empregadas neste trabalho, usando a massa de 0,02 gramas dos compósitos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450 selecionados no trabalho de Silva(2020),apresentam resultados promissores e superiores à descoloração observadas na fotólise. sendo respectivamente 83, 82, 88 e 85%.

De acordo com os ensaios realizados com uma massa de 0,2 gramas dos materiais, verificou-se que a porcentagem de descoloração do azul de metileno quando utilizado os compósitos selecionados TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450, foram promissores e superiores a descoloração na fotólise, sendo respectivamente 89, 80, 92 e 88%, aos 90 minutos. A porcentagem de descoloração do corante com a massa de 0,02 gramas dos compósitos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450 , também tiveram resultados promissores e superiores a descoloração na fotólise, sendo respectivamente 87, 79, 89 e 86 %.

Na fotocatalise do residuo de laboratório do AlaM a porcentagem de eescoloração foi levemente superior ao observado na fotólise obtendo quando usado os compósitos selecionados TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450 respectivamente 59,57, 61 e 60% notando-se uma redução de aproximadamente 20% dos valores encontrados na descoloração em relação a solução de alaranjado de metila. .

A descoloração do resíduo de azul de metileno na fotólise (57%) obteve valor menor ao comparar com os compósitos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450 sendo respectivamente 63, 61, 65 e 64%. Notou-se que a porcentagem de descoloração aumentou de forma gradativa com o aumento de temperatura ao qual o compósito foi submetido. No entanto, verifica-se que, foi registrada uma redução da porcentagem de descoloração em relação a solução do corante AM. ,

Os testes feitos no trabalho de com uma massa de 0,02 gramas dos materiais, observou-se que a porcentagem de descoloração da mistura dos resíduos quando usados os compósitos TiBC1:1200, TiBC1:2200, TiBC1:1450 e TiBC1:2450, foram superiores a descoloração na fotólise, sendo respectivamente 51, 50, 60 e 58%, mas inferiores em relação à descoloração da solução do azul de metileno.

As diminuições nas percentagens de descoloração dos resíduos, em relação às soluções dos respectivos corantes sugerem que há necessidade de uma investigação mais aprofundada do resíduo e pode estar relacionada às partículas residuais de sólidos presentes no resíduo que não foram completamente retiradas no pré-tratamento.

A utilização do TiO_2 P25 comercial aponta alguns inconvenientes em relação aos novos fotocatalisadores, como o maior tempo de adsorção necessário no procedimento fotocatalítico e um maior tempo para a separação deste da solução final.

Dessa maneira, pode-se inferir que os compositos usados neste trabalho apresentam um grande potencial para aplicação na fotocatalise heterogênea, mesmo com uma massa dez vezes menor, o que pode vir a se estabelecer em um material promissor para o sistema analisado.

7. LIMITAÇÕES

As principais limitações estão relacionada aos longos períodos nos quais os laboratórios do PGQA-UNEB e permaneceu fechado em 2020 e 2021 devido aomundial atual, referente ao COVID-19 e assim, só foi possível executar a parte experimental desse trabalho a partir do mês de agosto de 2021. Porém, durante o período de trabalho em casa, focalizei na minha formação acadêmica e profissional através de levantamento de referenciais em artigos e teses, reuniões com o grupo de pesquisa, cursei todos os componentes curriculares cumprindo assim a creditação que o programa exige e além disso, participei de diversos eventos relacionados a minha área de pesquisa e formação.

Dessa forma, os compósitos sintetizados seriam testadas nos processos de fotocatalise e adsorção de outros corantes o que também não foi possível devido a pandemia. Alguns testes de adsorção, inicialmente previstos, foram feitos, porém não foi possível seguir o planejamento. Nestes testes as amostras se mostraram promissoras, mas havia necessidade de reproduzir além de estudar os parâmetros, como tempo, massa, pH, etc e não houve tempo suficiente.

No entanto, mesmo com as dificuldades mencionadas foi possível alcançar alguns objetivos específicos e parcialmente o intuito principal como comprovam os resultados e considerações finais desse trabalho, sendo uma contribuição científica no ramo da fotocatalise heterogênea.

8. PERSPECTIVAS

Os compósitos apresentaram resultados promissores, mas requer mais investigação sobre suas propriedades físico-químicas para assim explicar de uma melhor forma a interferência da biomassa na composição do material e no emprego da fotocatalise heterogênea de corantes. É imprescindível a continuidade dos estudos de adsorção para estudar os parâmetros como massa, pH e temperatura com intuito de avaliar o potencial de emprego dos compósitos também na adsorção.

Sugere-se para futuros trabalhos com os resíduos de laboratório, identificar e quantificar os intermediários formados durante os processos fotocatalíticos bem como avaliar a toxicidade destes subprodutos e correlacionar com os parâmetros físico-químicos da molécula estudada bem como utilizar de técnicas de caracterização de compostos químicos tal como Cromatografia Gasosa para identificar se os intermediários ou subprodutos formados são menos nocivos que o contaminante inicial.

9 .REFERÊNCIAS

AH Jawad, AS Abdulhameed. **Argila mesoporosa de caulim vermelho iraquiano como adsorvente eficiente para corante azul de metileno: estudo de cinética, isotérmica e mecanismo de adsorção.** Surfe. Interface, 18 (2020).

AK Verma, RR Dash, P. Bhunia. **Uma revisão sobre tecnologias de coagulação/floculação química para remoção de cor de águas residuais têxteis.** J. Ambiente. Gerenciar., 93 (2012), pp. 154 - 168.

ALCARDE, A. R. **Cana-de-açúcar. Agência Embrapa de Informação Tecnológica.** Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html. Acesso em: 08 de abril de 2020.

AL-MAMUN, M. R.; KADER, S. ISLAM, M. S.; et al. Photocatalytic activity improvement and application of UV-TiO₂ photocatalysis in textile wastewater treatment: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, 2019.

ANASTOPOULOS, I.; BHATNAGAR, A.; HAMEED, B. H.; et al. **A review on waste-derived adsorbents from sugar industry for pollutant removal in water and wastewater.** Journal of Molecular Liquids, v. 240, p. 179-188, 2017.

ANDREÃO PV ET AL (2019) **Uso sustentável da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em materiais à base de cimento.** Verde Mate. <https://doi.org/10.1680/jgrma.18.00016>.

ANTONIO MARCOS DE OLIVEIRA SIQUEIRA RAFAELA MOREIRA DA SILVA CORDEIRO GUSTAVO CARVALHO MENEZES **reagents and chemicals in chemistry laboratory the Journal of Engineering and Exact Sciences** ANTUNES -JCEC, Vol. 08N. 01(2022).

F et al (2018). **Uma nova estratégia de intensificação de processo para produção de etanol de segunda geração a partir de bagaço de cana-de-açúcar em reator de leito fluidizado.** *Renovar Energia* 124:189-196.

ARCANJO, G. S.; MOUNTEER, A. H.; BELLATO, C. R.; et al. Heterogeneous photocatalysis using TiO₂ modified with hydrotalcite and iron oxide under UV-visible irradiation for color and toxicity reduction in secondary textile mill effluent. **Journal of Environmental Management**, v. 211, p.154-163, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) **ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro/RJ. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

BACCARO, A. L. B.; GUTZ, I. G. R. Fotoeletrocatalise em semicondutores: dos princípios básicos até sua conformação à nanoescala. **Química Nova**. v. 41, n. 3, p. 326-339, 2018.

BAGHERI, S.; JULKAPLI, N. M.; HAMID, S. B. A. **Functionalized activated carbon derived from biomass for photocatalysis applications perspective.** *International Journal of Photoenergy*, v. 2015, p. 1-30, 2014.

BORA, Leena V.; MEWADA, Rajubhai K. **Visible/solar light active photocatalysts for organic effluent treatment: Fundamentals, mechanisms and parametric review.**

Renewable and Sustainable Energy Reviews v. 76, n. December 2016, p. 1393-1421, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.130>>.1364-0321.

BORA, Leena V.; MEWADA, Rajubhai K. **Fotocatalisadores ativos de luz visível/solar para tratamento de efluentes orgânicos: Fundamentos, mecanismos e revisão paramétrica.** *Avaliações de energia renovável e sustentável*, 2017, 76: 1393-1421.

BORGES, A. L. C. C., CAMPOS, M. M., & REIS, S. R. 2008. **Cana-de-açúcar na alimentação de bovinos.** *Revista Veterinária e Zootecnia em Minas*, 1/2/3(96), 1-4.

BORGES, S. S.; XAVIER, L. P. S.; SILVA, A. C.; et al. Imobilização de dióxido de titânio em diferentes materiais suporte para o emprego em fotocatalise heterogênea. **Química Nova**. v. 39, p. 836-844, 2016.

Brasil, ABNT, NBR. 10004. **Resíduos Sólidos –Classificação. Norma Brasileira.** Disponível em
:<https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.

Brasil, **Ministério do Meio Ambiente**, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução nº 430 (2011).

BRASIL. Ministério da Saúde - Portaria no 518, de 25 de março de 2004. **“Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências”**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 26 de março de 2004. seção 1.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Brasília: [s.n.], 2010. 1-72 p. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 9788573659726.

CALDAS, Fernando Henrique Ferreira et al. **Aperfeiçoamento do protocolo de tratamento de resíduos de DNS**. 2019.

CHEKEM, C. T.; RICHARDSON, Y.; PLANTARD, G.; et al. **From biomass residues to titânia coated carbonaceous photocatalysts: A comparative analysis of different preparation routes for water treatment applications**. **Wast Biomass Valor**, 2016.

CHIAM, S. L.; PUNG, S. Y.; YEOH, F. Y. Recent developments in MnO₂ based photocatalysts for organic dye removal: A review. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 27, n. 6, p. 5759-5778, 2020.

COLMENARES, J. C.; LUQUE, R. Heterogeneous photocatalytic nanomaterials: prospects and challenges in selective transformations of biomass-derived compounds. **Royal Society of Chemistry**, v. 43, p. 765-778, 2014.

COLMENARES, J. C.; LISOWSKI, P.; LOMOL, D. **A novel biomass-based support (starbon) for TiO₂ hybrid photocatalysts: a versatile green tool for water purification.**

Royal Society of Chemistry, v. 3, p. 20186-20192, 2013.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar.** p. 16, 2021.

CONAMA. Resolução CONAMA 430/2011. **Diário Oficial da União** p. 9 , 2011.
Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>.9781604138795.

CONAMA. Resolução n 357, 18 de março de 2005. **Diário Oficial** n. 053, p. 58-63
,
2005.0136032311.

CORNELL, R. W.; SCHUWERTMANN, U. **The Iron Oxides Structure, Properties, Reactions, Occurrences and**. 2. ed., Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, 2003.

CORREIA, L. B.; FIUZA, R. A.; DE ANDRADE, R. C.; ANDRADE, H. M. C. CO₂ capture on activated carbons derived from mango fruit (*Mangifera indica* L.) seed shells. **J Therm Anal Calorim.** v.131, p. 579-586, 2018.

CR Holkar , AJ Jadhav , DV Pinjari , NM Mahamuni , AB Pandit. **Uma revisão crítica sobre tratamentos de efluentes têxteis: possíveis abordagens.** J. Ambiente. Gerenciar. , 182 (2016) , pp. 351 – 366.

Cusenza , S. Longo , M. Cellura , F. Guarino , A. Messineo , M. Mistretta , M. Volp e. **Avaliação ambiental de uma prática de transformação de resíduos em energia: A pirólise de resíduos de biomassa agroindustrial.** Sustent. Prod. Consum. , 28 (2021) , pp. 866-876 , 10.1016 / j.spc.2021.07.015

DA SILVA, C. P.; SILVA, F. S.; SOUZA, M. O. G. Implicações e aplicações do bagaço de cana-de-açúcar. **Atena editora.** p. 388-416, 2021.

DA SILVA, CARINE PEREIRA ; DOS SANTOS, ARNAUD VICTOR ; OLIVEIRA, ANTÔNIA SOARES ; DA GUARDA SOUZA, MARLUCE OLIVEIRA . **Synthesis of composites and study of the thermal behavior of sugarcane bagasse/iron nitrate mixtures in different proportions.** JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS AND CALORIMETRY, v. 131, p. 611-620, 2017

DA SILVA WOLFF, GABRIEL et al. fotocatalise heterogênea: uma revisão sobre os métodos promissores de imobilização de dióxido de titânio. **revista técnico-científica do ifsc**, v. 1, n. 12, p. 1-19, 2022

D. BHATIA , NR SHARMA , J. SINGH , RS KANWAR. **Métodos biológicos para remoção de corantes têxteis de águas residuais: uma revisão.** Crítico. Rev. Ambiente. Sci. Tecnol. , 47 (2017) , pp. 1836-1876 , 10.1080.

DE CASTRO, L. M. F. **Obtenção de novos materiais baseados em Óxidos de ferro e resíduo de manga pelo método da combustão para Fotocatálise Heterogênea.** Dissertação de Mestrado. Salvador, BA, Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade do Estado da Bahia, 2019.

DEWIL, R.; MANTZAVINOS, D.; POULIOS, I.; RODRIGO, M. A. New perspectives for advanced oxidation processes. **Journal of environmental management**, v. 195, p. 93-99, 2017.

D. GÜMÜŞ, F. AKBAL. **Degradação fotocatalítica de corantes têxteis e águas residuais**

Poluição do solo da água do ar. Foco. , 216 (2011) , págs. 117 - 124.

DIAS, M.O.S. et al. **Biorefineries for the production of first and second generation ethanol and electricity from sugarcane.** Applied Energy, v. 109, p. 72-78, 2013.

DIEDERICHS GW ET AL (2016) **Comparação tecnoeconômica da produção de biocombustível de aviação a partir de lignocelulose, óleo vegetal e caldo de cana.** Tecnologia Biorecurso 216:331-339.

DA SILVA, Carine Pereira. **Otimização dos parâmetros de produção de compósitos a partir do bagaço de cana-de-açúcar e sais de ferro para**

emprego na adsorção de corante. Dissertação de Mestrado. Salvador-BA, Programa de Pós- Graduação em Química Aplicada da Universidade do Estado da Bahia, 2016.

DONG, Xiaoping; CHENG, Fuxing. **Desenvolvimento recente em nanofolhas de gC 3 N 4 bidimensionais esfoliadas para aplicações fotocatalíticas.** *Journal of Materials Chemistry A* , 2015, 3.47: 23642-23652.

DONG, S.; ZHANG, J.; GAO, L.; et al. **Preparation of spherical activated carbon-supported and Er³⁺:YAlO₃-doped TiO₂ photocatalyst for methyl orange degradation under visible light.** *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, v. 22, p.2477-2483, 2012.

DOS SANTOS THAIANE SIQUEIRA. **Aproveitamento de sementes de goiaba e/ou cajá na obtenção de fotocatalisadores baseados em óxido de ferro 2021.**

EL-SALAMONY, R. A.; AMDEHA, E.; GHONEIM, S. A.; et al. Titana modified activated carbon prepared from sugar cane bagasse: adsorption and photocatalytic degradation of methylene blue under visible light irradiation. **Environmental Technology**, v. 38, 2017.

FARIA K, GURGEL R, HOLANDA J (2012) **Reciclagem de resíduos de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de tijolos de barro.** *J Gerenciar Ambiente* 101:7–12.

Fideles RA et al (2018) **Bagaço de cana trimelitado: um adsorvente versátil para remoção de corantes catiônicos de solução aquosa.** Parte I: adsorção em lote em um sistema monocomponente. *J Colloid Interface Sci* 515:172-188.

FLORÊNCIO, T.M.; MALPASS, G.R.P. **A brief explanation about environmental licenses in Brazil.** *The Nexus [online] – American Chemical Society*. April 2014.

FONSECA, Pedro Miguel Fernandes da. **Filmes finos para sensores de pressão em próteses de membros inferiores: Dióxido titânio dopado com prata**. 2011. PhD Thesis.

PRIHOD'KO, Roman V.; SOBOLEVA, Nely M. **Fotocatálise: Processos oxidativos no tratamento de água**. *Revista de Química*, 2013, 2013. **Fotocatalisadores à base de biomassa para aplicações ambientais**. In: Inamuddin, Asiri, A., Lichtfouse, E. (eds) *Nanofotocatálise e Aplicações Ambientais. Química Ambiental para um Mundo Sustentável*, vol 30. Springer, Cham.

GIBSON, R. F. **Principles of Composite Material Mechanics**. New York: McGraw-Hill, 1994.

GF Rocha, SM Lima, FTR Caseli, MSF Santos. **Análise do reaproveitamento da água no processo produtivo em uma lavanderia têxtil da cidade de Teresina**. JHP Silveira (Ed.), *Sustentabilidade e Responsabilidade Social*, Vol. 2, Poisson, Belo Horizonte (2017), pp. 105-114, 10.5935.

GHALY, A. E. *et al.* Production, characterization and treatment of textile effluents: A critical review. **Journal of Chemical Engineering & Process Technology**, 2014.

GHALY, AE.; ANANTHASHANKAR, R.; ALHATTALI, M.; *et al.* **Production, characterization and treatment of textile effluents: A critical review**. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 2014.

GRANGEIRO, Luana Cardoso. **Estudo do crescimento e controle de biomassa na produção de biohidrogênio a partir da fermentação escura de vinhaça de cana-de-açúcar usando reatores contínuos de tubos múltiplos**. 2022.

GOPINATH, Kannappan Panchamoorthy *et al.* Aplicações atuais de dióxido de titânio para a remoção fotocatalítica de poluentes da água: uma revisão. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 270, p. 110906, 2020.

GRANDE, R.; TROVATTI, E.; PIMENTA, M. T. B.; *et al.* Microfibrilled cellulose from sugarcane bagasse as a biorefinery product for ethanol production. *Journal of*

Renewable Materials, v.6, p.195-202, 2018.

GUAN, S.; HAO, L.; YOSHIDA, H.; ITOI, T.; ASANUMA, H.; PAN, F.; LU, Y. **Fabrication and characterization of photocatalyst composite coatings of TiO₂/TiC-Ti using Ti and TiC powders**, *Surface & Coatings Technology*, 307, 627-632, 2016.

GUAN, Kaishu; LU, Baojun; YIN, Yansheng. **Efeito e mecanismo aprimorados da adição de SiO₂ na propriedade super-hidrófila de filmes de TiO₂**. *Surface and Coatings Technology*, 2003, 173.2-3: 219-223.

GUETTAI, N.; AMAR, H. A. Photocatalytic oxidation of methyl Orange in presence of titanium dioxide in aqueous suspension. Part I: parametric study. *Desalination*, v. 185, p. 427-437, 2005.

HG Yang , CH Sun , SZ Qiao , J. Zou , G. Liu , SC Smith , HM Cheng , GQ Lu. **Anatase TiO₂ monocristais com uma grande porcentagem de facetas reativas**. *Natureza*, 453 (2008), pp. 638-641 , 10.1038.

HYNES, N. R. J. et al. **Modern enabling techniques and adsorbents based dye removal with sustainability concerns in textile industrial sector -A comprehensive review**. *Journal of Cleaner Production*, v. 272, p. 122636, 2020.

H. Yu , Y. You , F. Lei , Z. Liu , W. Zhang , J. Jiang. **Estudo comparativo de pré-tratamentos com peróxido de hidrogênio alcalino e organosolv do bagaço de cana-de-açúcar para melhorar o rendimento geral de açúcar**. *Biorecurso*. *Tecnol.*, 187 (2015), pp. 161 – 166.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas- Relatório de Pesquisa (2012)**. Brasília. In: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso: 21 dez. 2022.

JARDIM, WILSON DE FIGUEIREDO. **Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa**. *Química Nova [online]*. 1998, v. 21,

n. 5 [Acessado 02 setembro 2022], pp. 671-673. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40421998000500024>>. Epub 08 Maio 2001. ISSN 1678-7064.

J. Mo , Q. Yang , N. Zhang , W. Zhang , Y. Zheng , Z. Zhang. **Uma revisão sobre adsorventes derivados de resíduos agroindustriais (AIW) para tratamento de água e esgoto.** J. Ambiente. Gerenciar. , 227 (2018) , págs. 395 – 405.

JPP Lima, A. A. A. Aguiar, **Presença de metais efluentes e processos confortáveis para têxteis brasileiros, em:** PM Melo, P. Souza, MFA Bueno, Souza, K. CVT Riguetto, VR Pessoa, YFF Brandão, MPA Filho, MRL Moraes, RC Barbosa, L. Voltolini, AA Souza, NBA Souza, RJ Machado (Eds.), Engenharia Química: Inovação e Tradição em Tempos de Pandemia, Even3 Publicações, Recife , 2021, pp. 591-603.

J. WEN , X. LI , W. LIU , Y. FANG , J. XIE , Y. XU. **Fundamentos de fotocatalise e modificação de superfície de nanomateriais de TiO₂.** Cuihua Xuebao/Chinês J. Catal., 36 (2015) , pp. 2049 – 2070.

KARAOLIA, P.; MICHAEL-KORDATOU, I.; HAPESHI, E.; et al. **Removal of antibiotics, antibiotic-resistant, bacteria and their associated genes by graphene-based TiO₂ 105 composite photocatalysts under solar radiation in urban wastewaters.** Applied Catalysis B: Environmental, v. 224, p. 810-824, 2018.

Karp SG et al (2013) **Estratégias de pré-tratamento para deslignificação do bagaço de cana-de-açúcar: uma revisão.** Braz Arch Biol Technol 56(4):679-689.

KARTHIK, T.; RATHINAMOORTHY, R. **Recycling and reuse of textile effluent sludge.** In: *Environmental Implications of Recycling and Recycled Products.* Springer, Singapore, 2015. p. 213-258.

MONTEIRO, D. S.; SOUZA, M. O. G. S. Thermal decomposition of precursors and iron

oxide properties: Influence of promoters (Mn and Cu) and preparation method. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 123, p.955-963, 2016

S. Kavitha , RY Kannah , S. Kasthuri , M. Gunasekaran , A. Pugazhendi , ER Rene , D. Pant , G. Kumar , J. Rajesh Banu. **Produção lucrativa de biometano a partir de biomassa de palha de arroz deslignificada: o efeito da lignina, energia e análise econômica.** *Química Verde.* , 22 (2020) , pp. 8024-8035 , 10.1039 / D0GC02738.

SILVA, Fernanda Sales et al. Study of the thermal decomposition of mixtures sugarcane bagasse/titanium dioxide. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, p. 1-11, 2022.

KHAIRY, Mohamed; ZAKARIA, Wan. Efeito da dopagem metálica de nanopartículas de TiO₂ em suas atividades fotocatalíticas para remoção de corantes orgânicos. *Jornal Egípcio de Petróleo* , 2014, 23.4: 419-426.

Khoo R, Chow W, Ismail H (2018) Fibra de bagaço de cana-de-açúcar e seus nanocristais de celulose para reforço de polímeros e adsorvente de metais pesados uma revisão. *Celulose*. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1879-z>.

KRYLOVA, A. Y.; ZAITCHENKO, V. M. Hydrothermal carbonization of biomass: A review. **Solid Fuel Chemistry**, v. 52, p. 91-103, 2018.

L. Dai , Y. Wang , Y. Liu , C. He , R. Ruan , Z. Yu , L. Jiang , Z. Zeng , Q. Wu **Uma revisão sobre a produção seletiva de produtos químicos de valor agregado via pirólise catalítica de biomassa lignocelulósica.** *Sci. Ambiente Total.*, 749 (2020) , pág. 142386 , 10.1016/j.scitotenv.2020.142386.

LEE, K. M.; LAI, C. W.; NGAI, K. S.; JUAN, J. C. **Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: a review.** *Water research*, v. 88, p. 428-448, 2016.

LABIDI, A. et al. Functional Chitosan Derivative and Chitin as Decolorization Materials for Methylene Blue and Methyl Orange from Aqueous Solution. **Materials**. v. 12, n. 3, p. 361, 2019.

LAVANYA, D.; KULKARNI, P. K.; DIXIT, M.; et al. Sources of cellulose and their applications: A review. **International Journal of Drug Formulation**, v. 2, p. 19-38, 2011.

LIGOWSKI, E.; SANTOS, B. C. D.; FUJIWARA, S. T. **Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão**. *Polímeros*, v. 25, n. 1, p. 70-75, 2015.

LIU, B.; LIU, S.; MENG, L.Y.; et al. Microwave-hydrothermal synthesis and photocatalytic properties of biomass charcoal/TiO₂ nanocomposites. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 22, p. 509-518, 2018.

LUI, W.; SUN, W.; BORTHWICK, A. G. L.; et al. Comparison on aggregation and sedimentation of titanium dioxide, titanate nanotubes and titanate nanotubes-TiO₂: Influence of pH, ionic strength and natural organic matter. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 434, p. 319-328, 2013.

LUZ, F.S.; CANDIDO, V. S.; SILVA, A. C. R.; et al. Thermal behavior of polyesters composites reinforced with green sugarcane bagasse fiber. **JOM: the Journal of the Minerals, Metals & Materials Society**, 2018.

S. MALATO , J. BLANCO , A. VIDAL , C. RICHTER **Fotocatálise com energia solar em escala de planta piloto: uma visão geral** *Aplic. Catal. B Ambiente.* , 37 (2002) , pp. 1-15 , 10.1016/S0926-3373(01) 00315-0.

MALLAKPOUR, Shadpour; NIKKHOO, Elham. **Modificação da superfície de nano-TiO₂ com diácidos à base de trimelitylimido-aminoácido para prevenir a agregação de nanopartículas**. *Advanced Powder Technology* , 2014, 25.1: 348-353.

Manish S, Banerjee R (2008) **Comparação de processos de produção de biohidrogênio**. *Int J Hydrog Energy* 33(1):279-286.

MARCI, Giuseppe; GARCÍA-LÓPEZ, Elisa I.; PALMISANO, **Leonardo**. **Química fina por fotocatalise heterogênea de TiO₂**. In: *Dióxido de titânio (TiO₂) e suas aplicações*. Elsevier, 2021. pág. 609-635.

MA, Y.; WANG, X.; JIA, Y. Titanium dioxide-based nanomaterials for photocatalytic fuel generations. **Chemical Reviews**, v. 114, p.9987-10043, 2014.

MBROISI, DENISE ET AL. **Gestão de resíduos químicos em universidades: Universidade de Brasília em foco. Química Nova [online]**. 2006, v. 29, n. 2 [Acessado 03 set 2022], pp. 404-409. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000200037>.

MDN Ramos, CC Claudio, PHV Rezende, LP Cabral, LA Santos, GC Costa, P L Mesquit, A. Aguiar. **Análise crítica das características dos efluentes industriais do setor têxtil no Brasil**. Rev. Virtual Quim., 12 (2020), pp. 913-929, 10.

F. MENG, F. LU, Z. SUN, J. LÜ **Um mecanismo para aumentar a atividade fotocatalítica de filmes finos de dióxido de titânio modificado por partículas de prata nanométricas**. Sci. Tecnologia China. Sci., 53 (2010), pp. 3027-3032, 10.1007/s11431-010-4116-z

MENGADA, F. B.; YANG, B.; WANG, S. D.; CHEN, Z.; MA, W. Novo biossorvente magnético semelhante ao dendrímero com base em resíduos de casca de laranja modificados: comportamento de adsorção-redução do arsênico. **ACS Sustain. Chem. Eng.** p. 9692 - 9700, 2017.

MIAN, M. M.; LIU, G. **Recent progress in biochar-supported photocatalysts synthesis, role of biochar, and applications**. RSC Advances, v. 8, p. 14237-14248, 2018.

M. MA, Y. YANG, Y. CHEN, Y. MA, P. LYU, A. CUI, W. HUANG, Z. ZHANG, Y. LI, F. SI **Degradação fotocatalítica do corante MB pelo fotocatalisador Fe**

3O_4 semelhante a uma flor 3D magneticamente separável / SiO_2 / MnO_2 / BiOBr-Bi . *J. Alloys Compd.*, 861 (2021).

MOHANTY, A. K.; VIVEKANANDHAN, S.; PIN, J.; et al. Composites from Renewable and sustainable resources: challenges and innovations. **Science**, v. 362, p. 536-542, 2018.

M. ZHOU , M. LI , C. HOU , Z. LI , Y. WANG , K. XIANG , X. GUO. **Pt nanocrystalinos/ TiO_2 com camadas de carbono de espessura controlada: preparação e atividades na oxidação de CO .** *Química Lett.* , 29 (2018) , pp. 787 – 790.

MUMTAZ, S.; MALIK, N. H.; NAZ, I.; et al. **Descolorization of textile dye reactive blue 221 by bactéria isolated from Anthropogenic dye-contaminated soil.** *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 24, p. 1705-1716, 2015.

NETO, Flávio Levy; PARDINI, Luiz Cláudio. ***Compósitos criaram: ciência e tecnologia*** . Editora Blucher, 2016.

NOGUEIRA, Raquel F. P.; JARDIM, Wilson F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova** v. 21, n. 1, p. 69-72 , fev. 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-

NOSRATPOUR MJ, KARIMI K, SADEGHI M (2018) **Melhoria da produção de etanol e biogás a partir do bagaço de cana-de-açúcar usando pré-tratamentos alcalinos de sódio.** *J Ambiente Gerenciar* 226:329-339.

N. Mathur, P. Bhatnagar, P. Nagar, M.K. Bijarnia. **Mutagenicity assessment of effluents from textile/dye industries of Sanganer, Jaipur (India): a case study.** *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 61 (2005), pp. 105-113.

OLIVEIRA, E. R. **Procedimentos e normas para o acompanhamento de análise da qualidade da cana-de-açúcar.** Organização de Plantadores de Cana

da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA), 2013.

OLLER , S. MALATO , JA SÁNCHEZ-PÉREZ. **Combinação de Processos Avançados de Oxidação e tratamentos biológicos para descontaminação de águas residuais - uma revisão** Sci. Ambiente total. , 409 (2011) ,pp. 4141 - 4166 , 10.1016/J.SCITOTENV.2010.08.061

PAYÁ J ET AL (2002) **Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (SCBA): estudos sobre suas propriedades para reaproveitamento na produção de concreto.** J Chem Technol Biotechnol 77(3):321-325.

Photocatalytic activity improvement and application of UV-TiO₂ photocatalysis in textile wastewater treatment: **A review** M.R.Al-Mamun^{ab}S.Kader^bM.S.Islam^bM.Z.H.Khan^a 2019 journal of Environmental Chemical Engineering Volume 7, Issue 5, October 2019, **Remediação de solo poluído por lodo de petróleo: abordagem integrada envolvendo novo consórcio bacteriano e aplicação de nutrientes** Ciência do Meio Ambiente Total , 750 (2021) , Artigo 142934 , 10.1016/j.scitotenv.2020.142934

RIBEIRO, V. A. S.; FERRARI, A. M.; TAVARES, C. R. G.. **Fotocatálise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans: comparação entre TiO₂ e ZnO₂ na eficiência de remoção de cor.** Brazilian Journals of Business, v. 2, p. 2788-2798, 2020.

RV Prihod'ko , NM Soboleva. **Fotocatálise: processos oxidativos no tratamento de água** J. Chem. (2013).

ROCHA, V. M. S.; TELES, L. R.; SOUZA, M. O. G. S.; et al. **Effect copper on the photocatalytic activity of semiconductor based titanium dioxide (anatase) and hematite (α -Fe₂O₃).** Materials Science and Engineering B, v. 185, p.13-20, 2014.

RODRIGUES, J. A. V. **Modificação de materiais lignocelulósicos através de reações de oxidação para adsorver cátions metálicos em solução aquosa. Dissertação de Mestrado.** Ouro Preto-MG, Programa de Pós- Graduação Química da Universidade Federal de Ouro Preto, Julho de 2016.

SANTOS, A. S.; SANTOS, T. S.; LEMOS, V. A.; SOUZA, A. O. D. Yellow Mombin (*Spondias mombin* L.) Seeds from Agroindustrial Waste as a Novel Adsorbent for Removal of Hexavalent Chromium from Aqueous Solutions. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, n. 2, p. 437-446, 2021.

S. Bauer , A. Pittrof , H. Tsuchiya , P. Schmuki. **Efeitos de tamanho em nanotubos de TiO₂: estabilização de anatase/rutilo dependente do diâmetro.** *Eletroquímica. Comum.* , 13 (2011) , pp. 538-541 , 10.101.

SCHMAL, M. **Cinética e reatores: Aplicação à Engenharia Química.** 2. Ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2009.

SHRIVER, D. F.; Atkins, P.W. **Química Inorgânica.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, p. 128-136, 2003.

SILVA, C.P.; SANTOS, A. V.; SOUZA, M. O. G.; et al. Synthesis of composites and study of the thermal behavior of sugarcane bagasse/ iron nitrate mixtures in diferente proportions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 131, p.611-620, 2017.

SILVA, Fernanda Sales. **Síntese de compósitos por tratamento térmico de misturas dióxido de titânio/bagaço de cana-de-açúcar para aplicação na fotocatalise heterogênea.** *Dissertação de Mestrado.* Salvador-BA, Programa de Pós- Graduação em Química Aplicada da Universidade do Estado da Bahia, 2020.

SINAR MASHURI, Salma Izati, et al. Fotocatálise para tratamento de efluentes orgânicos: Da base aos desafios atuais para a sociedade. *Catalisadores* , 2020, 10.11: 1260.

SIQUEIRA, Débora da Silveira. **Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde na atenção hospitalar no município de Santa Cruz do Sul/RS.** 2022.

S. MALLAKPOUR , E. NIKKHOODIFICAÇÃO da superfície de nano-TiO₂ com diácidos à base de trimelitylimido-aminoácidos para prevenir a agregação de

nanopartículas Av. Tecnologia em pó. , 25 (2014) , pp. 348-353 , 10.1016.

SCHMAL, M. **Cinética e reatores: Aplicação à Engenharia Química**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

SHI, M.; WEI, W.; JIANG, Z.; **et al.** **Biomass-derived multifunctional TiO₂/carbonaceous aerogel composite as a highly efficient photocatalyst**. RSC Advances, v.6, p.25255-25266, 2016.

Souza, A. C., Fugita, F. I., Sousa, A. H., & Santos, B. D. C. 2015. **Estudo das aplicações do bagaço da cana-de-açúcar dentro e fora das indústrias sucroalcooleiras**. Revista Brasileira de Energia, 21, 91-115.

SOUZA A ET AL (2011) **Reaproveitamento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (SCBA) para produção de materiais cerâmicos**. J Ambiente Gerenciar 92(10):2774-2780.

SOUZA, M. O. G.; REBOUÇAS, L. M.; CASTRO, L. M. F. Characterization and thermal decomposition study of mango residue biomass (*Mangifera indica* L.). **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 139, p. 1811-1816, 2019.

S. Yin , Q. Zhang , F. Saito , T. Sato. **Preparação de fotocatalisador de titânia ativado por luz visível pelo método mecanoquímico**. Química Lett. , 32 (2003) , pp. 358-359 , 10.1246.

TKACZYK, A.; MITROWSKA, K.; POSYNIAK, A. **Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review**. Science of The Total Environment. v. 717, p. 137222, 2020.

Varjani e Upasani, 2021. **Bioaumento de *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514—Um novo degradador de resíduos oleosos para tratamento de hidrocarbonetos de petróleo**
Biorecurso. Tecnol. , 319 (2021) , Artigo 124240.

V Bora , RK Mewada. **Fotocatalisadores ativos de luz visível/solar para tratamento de efluentes orgânicos: fundamentos, mecanismos e revisão paramétrica.** Renovar. Sustentar. Energy Rev. , 76 (2017) , pp. 1393-1421 , 10.1016

WEN, Tsung-Hsien, et al. **Geração de linguagem natural baseada em Istm condicionada semanticamente para sistemas de diálogo falado.** *arXiv preprint arXiv:1508.01745* , 2015.

W. Gan , X. Shang , XH Li , J. Zhan , X. Fu **Alcançando alta capacidade de adsorção e remoção ultrarrápida de azul de metileno e Pb²⁺ por TiO₂@C tipo grafeno.** Colóides Superfícies A Physicochem. Eng. Asp. (2019).

WS Koe , JW Lee , WC Chong , YL Pang , LC Sim. **Uma visão geral da degradação fotocatalítica: fotocatalisadores, mecanismos e desenvolvimento de membrana fotocatalítica.** Ambiente. Sci. Poluir. Res. , 27 (3) (2020) , pág. 2522 – 2565.

X. Hu , G. Li , JC Yu. **Projeto, fabricação e modificação de materiais semicondutores nanoestruturados para aplicações ambientais e de energia.** Langmuir , 26 (2010) , pp. 3031-3039.

XUE, H.; CHEN, Y.; LIU, X.; et al. **Visible light-assisted efficient degradation of dye pollutants with biomass-supported TiO₂ hybrids.** *Materials Science & Engineering*, v. 82, p. 197-203, 2018.

YAGUB, M. E SEN, T. E AFROZE, S. E ANG, HM 2014. **Corante e sua remoção de solução aquosa por adsorção: uma revisão.** *Avanços em colóides e ciência de interface*. 209: pp. 172-184.

YE, J.; HUI, Q.; LI, N.; et al. **Fabrication of CNFs/ZnO nanocomposites with enhanced photocatalytic activity and mechanical properties.** *Fibers and Polymers*, v. 16, p. 113- 119, 2015.

ZARBIN, A. J. G. Química de (nano) materiais. *Química nova*, v. 30, p. 1469-1479, 2007.

NETO, F. L; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.**

[S.L.]: Blucher, 2016.

ZHAO, X.; DU, P.; CAI, Z.; et al. **Photocatalysis of bisphenol A by an easy-settling titania/titanate composite: Effects of water chemistry factors, degradation pathway and theoretical calculation.** *Environmental Pollution*. v. 232, p. 580 e 590, 2018.

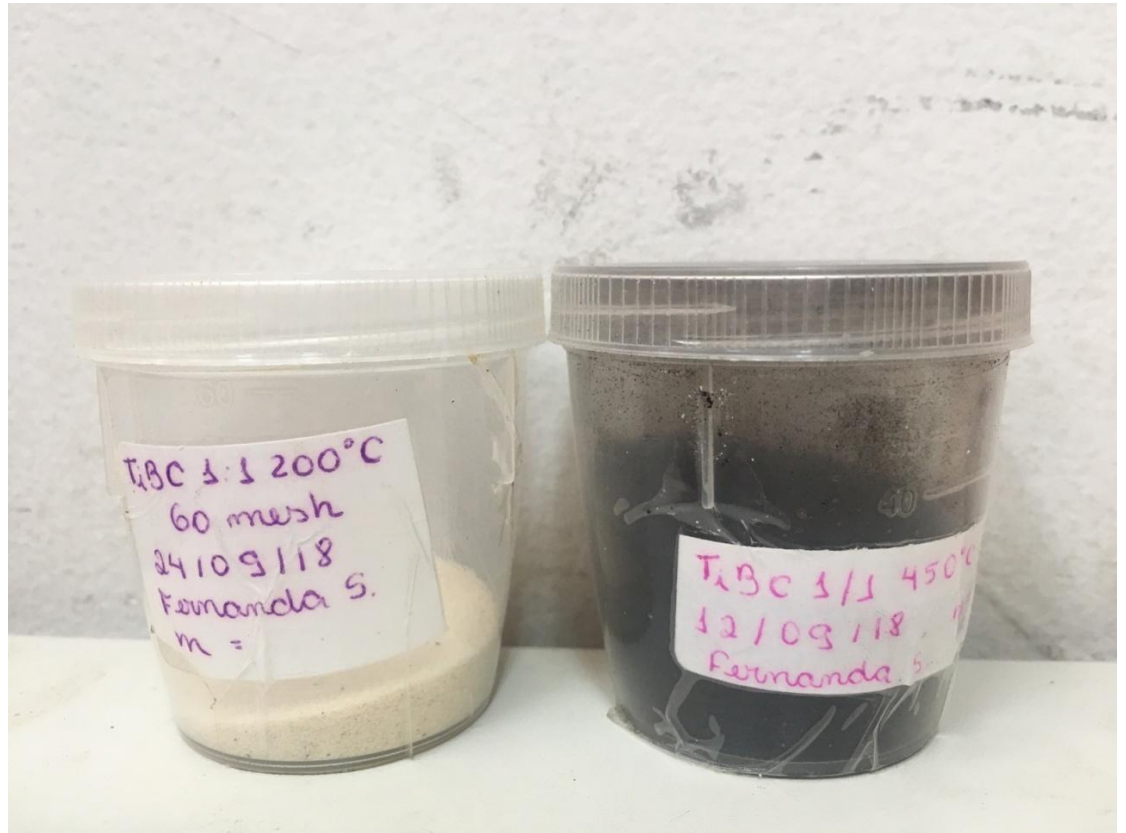
ZHANG, J.; LI, M.; FENG, Z.; et al. **UV Raman spectroscopic study on TiO₂. I. Phase transformation at the surface and in the bulk.** *Journal of Physical Chemistry B*, v. 110, p. 927-935, 2006.

ZHOU, Xintao, et al. **Emergência da peste suína africana na China, 2018.** *Doenças transfronteiriças e emergentes* , 2018, 65.6: 1482-1484.

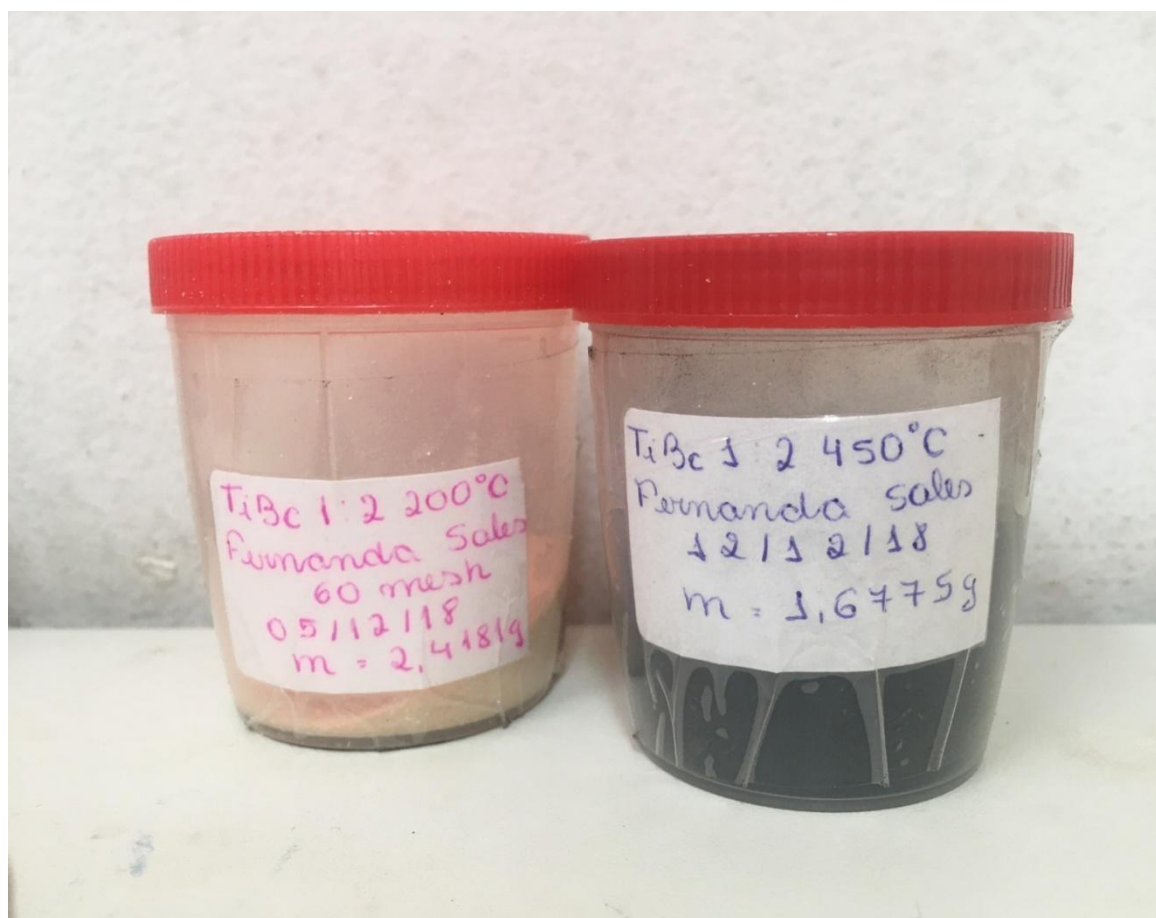
ANEXO A – Declaração de autorização para utilização das amostras pela Prof Msc Fernanda Sales da Silva

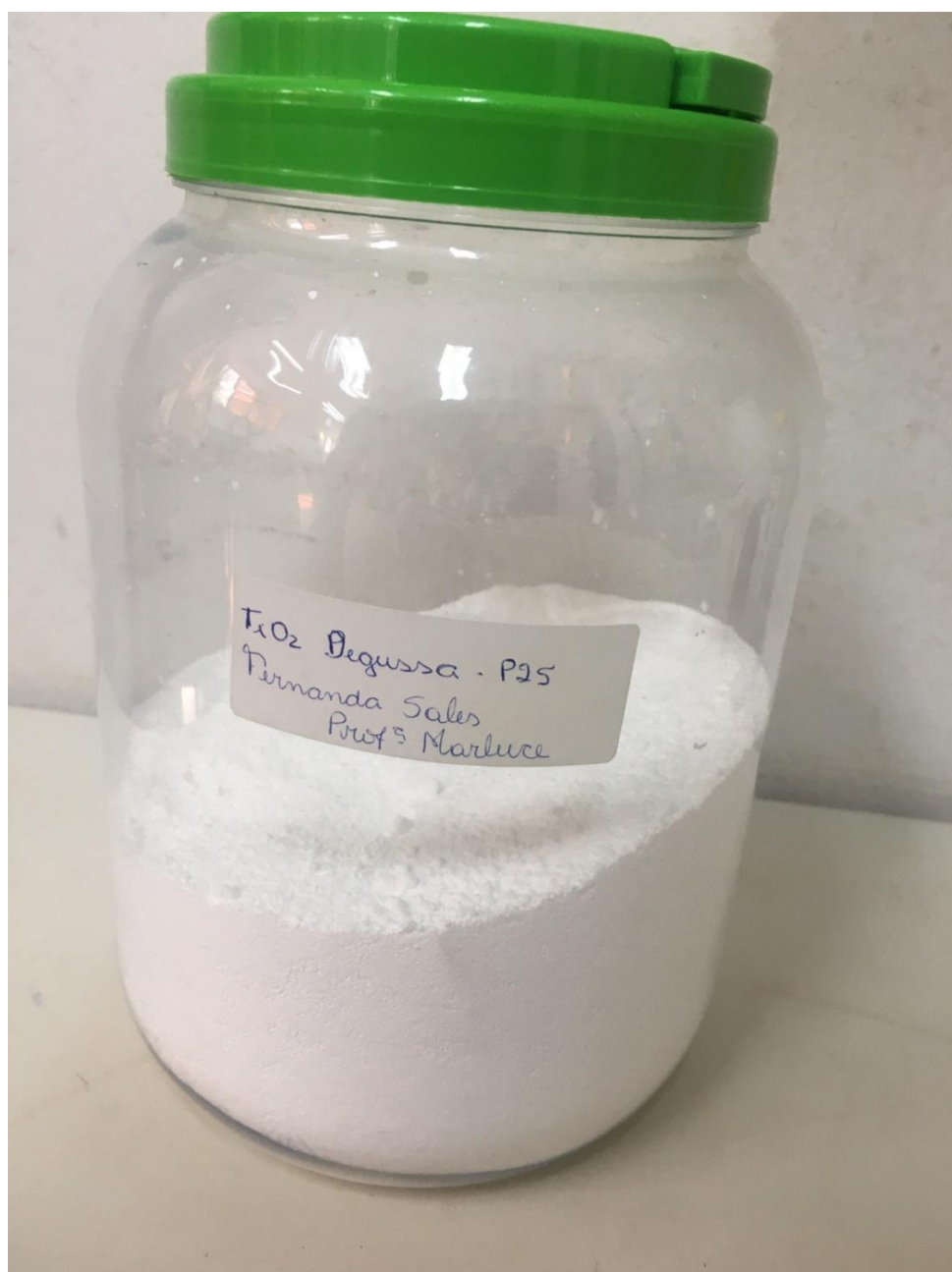
DECLARAÇÃO

Eu, Fernanda Sales Silva, venho através deste documento autorizar a Mestranda Leticia Santos de Jesus, a utilizar na sua pesquisa as amostras desenvolvidas durante o meu período de Mestrado (abril/2018 a junho/2020) pelo Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada – Universidade do Estado da Bahia sob orientação da Professora Dra^a. Marluce Oliveira da Guarda Souza.

Anexo B- Compósito TiBC 1:1

ANEXO C-Compósito 1:2



ANEXO D- TiO₂ comercial

ANEXO E**Área Superficial Específica (BET)****Tabela 4.** Medidas de áreas obtidas pelo método BET

| Amostras | S_{BET} (m² g⁻¹) |
|-----------------|---|
| TiBC1:1200 | 14 |
| TiBC1:1450 | 51 |
| TiBC1:2200 | 13 |
| TiBC1:2450 | 95 |

ANEXO F**Tabela 5** Valores da energia do band gap para o TiO₂ comercial e os compósitos sintetizados

| Amostra | Eg (eV) |
|------------------|---------|
| TiO ₂ | 3,43 |
| TiBC1:120 0 | 2,96 |
| TiBC1:220 0 | 2,87 |