

Ciência e Engenharia de Materiais

3

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)



 **Atena**
Editora

Ano 2018

MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA

(Organizadora)

Ciência e Engenharia de Materiais

3

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais 3 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 3)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-85107-65-9
DOI 10.22533/at.ed.659183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AGREGADOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA LD PÓS-PROCESSADA PARA CONCRETOS SUSTENTÁVEIS	
<i>Bárbara Ponciano de Souza</i>	
<i>Wanna Carvalho Fontes</i>	
<i>José Maria Fontes de Carvalho</i>	
<i>Rosana Marcia de Resende Mol</i>	
<i>Ellen Cristine Pinto da Costa</i>	
<i>Ricardo André Fiorotti Peixoto</i>	
CAPÍTULO 2	12
ANÁLISE MICROESTRUTURAL E FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUO DE SEIXO PARA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO	
<i>Marco Antonio Barbosa de Oliveira</i>	
<i>Kleber Roberto Matos da Silva</i>	
<i>Vitória Santos Barroso</i>	
<i>José de Ribamar Mouta Araújo</i>	
<i>Marcelo de Souza Picanço</i>	
CAPÍTULO 3	25
PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLOGIA DA FRATURA DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEUS DO PROCESSO DE RECAPAGEM	
<i>Fábio Santos de Sousa</i>	
<i>Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho</i>	
<i>César Tadeu Nasser Medeiros Branco</i>	
<i>Laércio Gouvêa Gomes</i>	
CAPÍTULO 4	33
PLANEJAMENTO FATORIAL PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS CIMENTÍCIOS	
<i>Jonath Oliveira do Nascimento</i>	
<i>Bruno Diego de Moraes</i>	
<i>Marcos Mattheus Lopes da Silva</i>	
<i>Felipe Lira Formíga Andrade</i>	
CAPÍTULO 5	44
ESTUDO DO EFEITO DA RADIAÇÃO UV EM COMPOSTOS DE POLIETILENO COM ADITIVOS OXI-BIODEGRADANTES	
<i>Caroline Henrique de Souza Borba</i>	
<i>Zora Ionara Gama dos Santos</i>	
<i>Raul Franklin Andrade Santos</i>	
<i>Grazielle Rozendo de Cerqueira</i>	
CAPÍTULO 6	54
USO DO PÓ DA PALHA DE CARNAÚBA COMO IMPERMEABILIZANTE EM TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	
<i>Ana Raira Gonçalves da Silva</i>	
<i>Marília Pereira de Oliveira</i>	
<i>Marineide Jussara Diniz</i>	
CAPÍTULO 7	61
EVALUATION OF THE COLOR CHANGES IN ARTIFICIALLY AGED PINE	
<i>Tiago Hendriço de Almeida</i>	
<i>Diego Henrique de Almeida</i>	
<i>André Luis Christóforo</i>	
<i>Francisco Antonio Rocco Lahr</i>	

CAPÍTULO 8 66

COLORIMETRIC PARAMETERS OF BRAZILIAN TROPICAL WOOD SPECIES

Diego Henrique de Almeida
Tiago Hendrigo de Almeida
Francisco Antonio Rocco Lahr
André Luis Christoforo

CAPÍTULO 9 70

ABSORÇÃO DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS DO RESÍDUO DE FIBRA DE PIAÇAVA MODIFICADO COM ÁGUA MORNHA

JanettyJany Pereira Barros
Danusa de Araújo Moura
Camila Gomes Moreno
Fabiana de Carvalho Fim
Eduardo Braga Costa Santos
Lucineide Balbino da Silva

CAPÍTULO 10 82

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA RESINA DE *PINUS SP.* E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS ADVINDAS DA SUA UTILIZAÇÃO PARA FINS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

Juliana Esteves Fernandes Cieslinski

CAPÍTULO 11 93

ESTUDO DA INTEGRIDADE E DURABILIDADE DE MATERIAIS ESTABILIZADOS POR SOLIDIFICAÇÃO CONTENDO LODO DE CURTUME

Maria Rosiane de Almeida Andrade
Marília Claudino Moreira Cunha
André Luiz Fiquene de Brito
Ana Cristina Silva Muniz
Bianca Viana de Sousa Barbosa
Carlos Eduardo Pereira

CAPÍTULO 12 104

TESTE DE ATIVIDADE E EFICÁCIA DE AGENTES BIOCIDAS EM TINTA ACRÍLICA

Túlio Valério Agostinho da Silva
Sara Horácio de Oliveira
Magda Rosângela Santos Vieira
Ildnay de Souza Lima Brandão

CAPÍTULO 13 112

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FIBRA CALOTROPIS PROCERA E SUA POTENCIAL APLICAÇÃO NA REMOÇÃO DE HIDROCARBONETOS E DERIVADOS

Anaxmandro Pereira da Silva
Erick Buonora Tabosa do Egíto
Késia Karina de Oliveira Souto Silva
Rasiah Ladchumananandasivam
José Heriberto Oliveira do Nascimento
Ana Rita Leandro dos Santos

CAPÍTULO 14 118

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO DA MICROSSÍLICA COM ALTO TEOR DE CARBONO: ANÁLISE QUÍMICA, MINERALÓGICA E MECÂNICA

Ruan Landolfo da Silva Ferreira
Marcos Alyssandro Soares dos Anjos
Andreza Kelly Costa Nóbrega

CAPÍTULO 15..... 129

INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CEDROARANA (*CEDRELINGA CATENAEFORMIS*)

Andréa de Souza Almeida

Tiago Hendrigo de Almeida

Francisco Antonio Rocco Lahr

André Luis Christoforo

CAPÍTULO 16..... 139

ESTUDO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM EFLUENTES REFRAATÓRIOS POR PROCESSO FENTON PARA DEGRADAÇÃO E MINERALIZAÇÃO DESSES COMPOSTOS EM REATOR DE ESCALA LABORATORIAL MODELO PARR

Camila Freire Berenguer

Yana Batista Brandão

Mohand Benachour

CAPÍTULO 17 156

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÓLEOS DE TRANSFORMADORES POR ESPECTROSCOPIA FTIR/ATR E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

Isabela Nogueira

Maísa Maciel Machado Santos

Thiago Arantes Nogueira

Estácio Tavares Wanderley Neto

Credson de Salles

Tessa Martins de Carvalho Carneiro

Álvaro Antônio Alencar de Queiroz

SOBRE A ORGANIZADORA 171

ESTUDO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM EFLUENTES REFRAATÓRIOS POR PROCESSO FENTON PARA DEGRADAÇÃO E MINERALIZAÇÃO DESSES COMPOSTOS EM REATOR DE ESCALA LABORATORIAL MODELO PARR

Camila Freire Berenguer

Universidade Federal de Pernambuco
Recife-Pernambuco

Yana Batista Brandão

Universidade Federal Rural de Pernambuco –
Unidade Cabo de Santo Agostinho
Cabo de Santo Agostinho - Pernambuco

Mohand Benachour

Universidade Federal de Pernambuco –
Departamento de Engenharia Química
Recife - Pernambuco

RESUMO: O objetivo deste trabalho é quantificar o efeito da Temperatura (T), da Razão Molar Estequiométrica Fenol/Peróxido de Hidrogênio (R), da Vazão de Ar (Q_{AR}) e do pH do efluente no tratamento por Processo de Oxidação Avançada (POA) de um efluente líquido contendo o composto orgânico sintético (fenol). Neste processo, o peróxido de hidrogênio foi utilizado como fonte de radical hidroxila, eficaz na degradação do composto orgânico. Os estudos experimentais foram realizados em um reator batelada em escala laboratorial, modelo tipo PARR, tendo um efluente fenólico sintético com uma concentração inicial (C_{F0}) de 500 mg.L⁻¹. A degradação do fenol foi acompanhada com o uso da técnica analítica da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) e a mineralização do composto foi monitorada

com um analisador de Carbono Orgânico Total (COT). Uma degradação do fenol superior a 99% e uma conversão do COT superior a 70% foram obtidas, respectivamente, nas condições otimizadas do processo (T=90°C; R=100%, pH=7 e $Q_{AR}=100$ NL.h⁻¹).

PALAVRAS-CHAVE: Fenol, POA, COT, CLAE.

ABSTRACT: The objective of this work is to quantify the effect of Temperature (T), Stoichiometric Molar Ratio Phenol / Hydrogen Peroxide (R), Air Flow (Q_{AR}) and pH of the effluent in the Advanced Oxidation Process (AOP) treatment of a liquid effluent containing the synthetic organic compound (phenol). In this process, hydrogen peroxide was used as a source of hydroxyl radical, effective in the degradation of the organic compound. The experimental studies were carried out in a laboratory-scale batch reactor, model type PARR, having a synthetic phenolic effluent with an initial concentration (C_{F0}) of 500 mg.L⁻¹. The degradation of phenol was monitored using the analytical technique of High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and the mineralization of the compound was monitored with a Total Organic Carbon Analyzer (TOC). A degradation of the phenol above 99% and a conversion of the TOC greater than 70% were respectively obtained under the optimum operating conditions of the process (T=90 °C, R=100%, pH=7 and

$Q_{AR}=100 \text{ NL.h}^{-1}$).

KEYWORDS: Phenol, AOP, TOC, HPLC.

1 | INTRODUÇÃO

O termo “efluente” é usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes das indústrias, esgotos e nas estações pluviais capazes de contaminar o meio ambiente de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (CONAMA, 2011). Atualmente, mesmo com tantas precauções e ações por parte dos órgãos responsáveis e até mesmo da população, em favor do meio ambiente, tem sido observado que as indústrias ainda costumam desprender subprodutos tóxicos, não tratados, diretamente em rios, mares, solos e ar. A toxicidade destes compostos na água, por exemplo, tem tido bastante relevância, devido às suas concentrações que, em níveis de mg.L^{-1} , podem afetar o meio ambiente aquático, por exemplo, com consequências nefastas para a flora e a fauna (BRANDÃO, 2012). Os rejeitos mais observados são os compostos orgânicos devido à sua remoção no meio ambiente, sendo um grande desafio tecnológico, pois, inúmeras vezes, tecnologias de tratamentos convencionais não são capazes de solucionar o problema de forma eficiente. Por este motivo tem crescido tanto a busca por tecnologias efetivas para destruí-los (RODRIGUES *et al.*, 2010).

Os métodos de tratamento de efluentes industriais convencionais podem ser divididos em dois grupos: métodos baseados na transferência de fase e outros, chamados processos oxidativos, baseados na destruição de poluentes. Entre os métodos de transferência de fase, tem-se: o biológico, físico e químico. O processo biológico geralmente é tratado com bactérias, as quais podem ser aeróbicas e anaeróbicas que se destaca pela sua aplicação na maioria dos casos, entretanto, para resíduos concentrados, este se torna inadequado. Adicionalmente, os efluentes líquidos podem conter componentes que sejam não biodegradáveis ou tóxicos para os microrganismos devido à natureza dos poluentes ou à sua presença em altas concentrações, acima de 500 mg.L^{-1} . No processo físico pode ocorrer a decantação ou a filtração, embora o problema muitas vezes persista. Já o processo químico divide-se em: incineração e eletroquímica, onde numa interação destes, encontra-se o Processo Oxidativo Avançado (POA), em que pode ocorrer por fotocatalise ou ozonificação. A incineração é uma alternativa ao tratamento biológico, todavia seu uso encontra-se limitado quando a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é baixa, abaixo 200 g.L^{-1} , devido à quantidade de energia requerida (BRANDÃO *et al.*, 2010).

Os POA são processos de oxidação que geram radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$), os quais são espécies altamente oxidantes, em quantidade suficiente para provocar a mineralização da matéria orgânica em dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Esses processos dividem-se em sistemas homogêneos e heterogêneos. Os sistemas

homogêneos não existem na presença de catalisadores na forma sólida. A degradação do poluente orgânico pode ser efetuada por duas técnicas: fotólise direta com ultravioleta, onde a luz é a única fonte capaz de produzir a destruição do poluente. Esta, geralmente, possui uma eficiência baixa, assim, na maioria das vezes é usada para quantificar a contribuição de fotólise da matéria orgânica; e, a geração de radical hidroxila, que tem alto poder oxidante, tempo de vida curta e é responsável pela oxidação dos compostos orgânicos. A sua geração pode ocorrer devido à presença de oxidantes fortes, como peróxido de hidrogênio e ozônio, combinados ou não com irradiação. Os sistemas heterogêneos diferenciam-se dos homogêneos devido à presença dos catalisadores semicondutores, substâncias que aumentam a velocidade da reação para se atingir o equilíbrio químico sem sofrer alteração química. O processo fenton consiste na formação de radicais hidroxilas, altamente oxidantes, a partir de uma mistura de íons ferro com o reagente peróxido de hidrogênio. Este processo vem sendo bastante explorado nos últimos anos e tem-se mostrado muito eficiente no tratamento de efluentes contaminados, sendo considerado um POA (CASTRO; FARIA, 2001).

Este trabalho tem como objetivo estudar o uso de um POA no tratamento de um efluente sintético contendo fenol, a fim de determinar a degradação do fenol e a conversão do Carbono Orgânico Total (COT). Os estudos experimentais foram realizados, para avaliar o efeito da Temperatura (T), da Razão Molar Estequiométrica Fenol/Peróxido de Hidrogênio (R), do pH e da Vazão de Ar (Q_{AR}) sobre a etapa de degradação do fenol utilizando o método da Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) e da conversão do COT utilizando um analisador de COT.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Reator de Bancada tipo PARR

O reator de bancada PARR foi utilizado na oxidação das amostras do efluente fenólico. O reator PARR encontra-se no Laboratório de Processos Catalíticos (LPC) no Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Para cada um dos 28 experimentos realizados, foi preparado um efluente contendo fenol com uma concentração aproximada de 500 mg.L^{-1} , a fim de avaliar o efeito dos parâmetros operacionais sobre a eficiência do processo. O volume do efluente preparado para todos os experimentos foi de 1,3 L. O controle do pH do efluente foi realizado com o auxílio de um pH-metro, adicionando ácido ou base a solução até atingir o pH desejado para realizar a análise. Após preparar o efluente sintético, o composto fenólico foi adicionado no reator PARR. O controle da temperatura do efluente foi monitorado no painel de controle do reator, onde também se pode controlar a rotação do agitador e a pressão do sistema, sendo utilizada a pressão

atmosférica. Após estabilizar a temperatura do efluente foi coletada uma amostra e em seguida adicionado o peróxido de hidrogênio ao efluente e ajustado a vazão de ar, dando início ao processo de degradação do fenol e da conversão do COT ao longo do tempo operacional. O efluente restante foi então diluído, quando necessário, em níveis de concentração, conforme a resolução ambiental de descarte nº 430 de 2011 do CONAMA (CONAMA, 2011). As análises quantitativas dos níveis de concentração de descarte do resíduo de fenol e intermediários são realizadas através da técnica de CLAE, imediatamente após coleta e resfriamento da amostra. A Figura 1 mostra um esquema sucinto do reator utilizado nos ensaios com a oxidação do efluente orgânico fenólico. Em todos os ensaios experimentais de oxidação do fenol, totalizando 28, foram coletadas amostras ao longo do tempo operacional, sendo observada uma mudança na coloração até atingir cor praticamente preta, dependendo do nível de degradação da amostra, evidenciando que ocorreu de fato a oxidação do fenol. Em seguida, as amostras foram resfriadas, filtradas (papel de filtro de 2 µm) e posterior medidas do valor de pH e analisadas por técnicas de COT e CLAE.

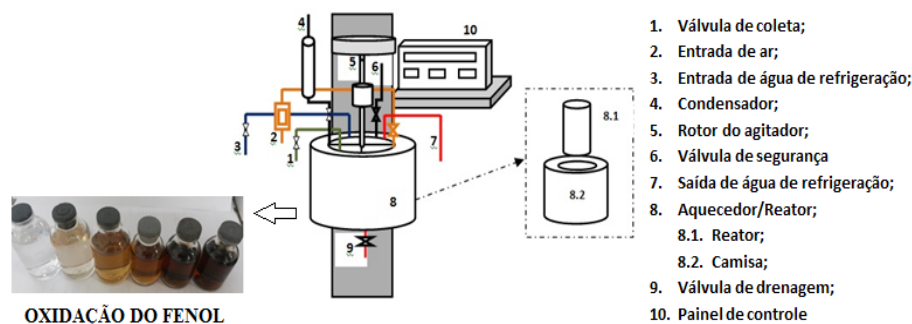


Figura 1 – Esquema sucinto do reator tipo PARR e a oxidação do efluente fenólico.

2.2 Métodos Analíticos

Cromatografia líquida de alta eficiência: Para análise cromatográfica da concentração residual do fenol, as amostras foram analisadas no Cromatógrafo CLAE (modelo LC 20AT – Shimadzu), com detecção UV-VIS, degaseificador (DGU 20As), módulo (CBM 20A), forno (CTO-20A) com sistema integrado de aquisição de dados, utilizando uma coluna (M)/(C-18) de 25 cm. O modo de eluição foi o isocrático, temperatura do forno (35°C), volume de injeção (20 µL), composição da fase móvel (10% metanol e 90% água/ácido fosfórico com um pH ajustado para 2,2), vazão da fase móvel (0,75 mL.min⁻¹) e comprimento de onda do detector UV de 270 nm para identificar o fenol. Os reagentes utilizados foram: fenol (99% P.A., marca DINÂMICA), metanol UV/HPLC (98,5% P.A., marca DINÂMICA) e ácido fosfórico UV/HPLC (85% P.A., marca DINÂMICA).

Analizador de carbono orgânico total: As determinações de Carbono Orgânico Total (COT) foram realizadas com um Analisador de COT (modelo COT-V_{CSH}, Shimadzu), para analisar quantitativamente. O COT é a subtração entre o teor de Carbono Total

(CT) e Carbono Inorgânico (CI) (FONSECA *et al.*, 2006).

3 | RESULTADOS PARCIAIS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos nas duas etapas do estudo do processo oxidação avançada do fenol em reator de batelada laboratorial. A primeira etapa trata da curva de calibração do fenol, para a análise das concentrações destes compostos por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). A segunda etapa analisa o efeito das quatro variáveis utilizadas no processo (pH, temperatura, razão molar fenol/H₂O₂, vazão de ar), visando identificar o efeito de cada uma delas sobre a degradação do fenol e a conversão do COT.

3.1 Primeira Etapa: Curva de Calibração e análise de linearidade

Para se obter a curva de calibração foram preparadas amostras nas faixas entre 2 a 70 mg.L⁻¹ (menor faixa) e entre 80 a 500 mg.L⁻¹ (maior faixa), de fenol, sendo posteriormente analisadas no comprimento de onda de 270 nm pelo método CLAE.

A análise de linearidade da curva de calibração de fenol foi realizada através de uma regressão linear e do cálculo da variável explicada (R²). As Figura 2 e 3 apresentam as curvas analíticas relacionando a área para as Concentrações do Fenol (C_F) que variam entre 2 a 80 mg.L⁻¹ e entre 80 a 500 mg.L⁻¹, respectivamente. Conforme pode ser verificado, o valor do R² foi superior a 0,99, Figura 2 e Figura 3, de acordo com os padrões exigidos pelo INMETRO (INMETRO, 2010).

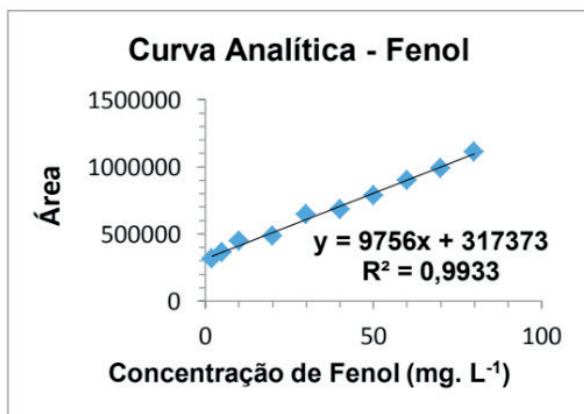


Figura 2: Curva analítica para o composto orgânico (fenol). C_F = 2 a 80 mg.L⁻¹.

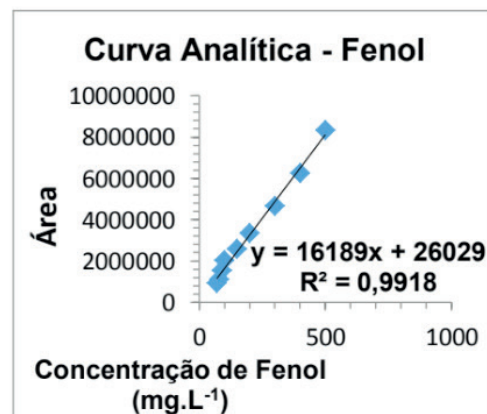


Figura 3: Curva analítica para o composto orgânico (fenol). C_F = 80 a 500 mg.L⁻¹.

3.2 Segunda Etapa: Planejamento Fatorial Completo

Nesta segunda etapa do trabalho foi utilizado um planejamento experimental do tipo DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional), com quatro variáveis estudadas: Temperatura (T), Razão Molar Fenol/Peróxido de Hidrogênio (R), potencial Hidrogeniônico (pH) do efluente e vazão de ar (Q_{AR}). A Tabela 1 apresenta os valores dos níveis das variáveis utilizadas no planejamento DCCR.

Fatores	Nível (-2)	Nível (-1)	Ponto Central (0)	Nível (+1)	Nível (+2)
pH	3 4		7	10	11
Temperatura (°C)	50	60	70	80	90
Razão fenol/H ₂ O ₂ (%)	0	25	50	75	100
Vazão de Ar (NL h ⁻¹)	0	50	100	150	200

Tabela 1 – Variáveis operacionais do processo oxidativo avançado.

A Tabela 2 apresenta a matriz do planejamento com os resultados obtidos para a degradação do fenol (X_{DF}) e a conversão do Carbono Orgânico Total - COT (X_{COT}).

E*	pH	T (°C)	R (%)	Q _{AR} (NL.h ⁻¹)	X _{DF} (%)	X _{COT} (%)	E*	pH	T (°C)	R (%)	Q _{AR} (NL.h ⁻¹)	X _{DF} (%)	X _{COT} (%)
1	-1	-1	-1	-1	63,7	5,8	15	+1	+1	+1	-1	21,8	9,8
2	-1	-1	-1	+1	62,2	2,8	16	+1	+1	+1	+1	37,8	17,3
3	-1	-1	+1	-1	62,9	10,5	17	0	0	0	0	83,1	15
4	-1	-1	+1	+1	43,8	6,3	18	0	0	0	0	82,8	14,9
5	-1	+1	-1	-1	68,3	7	19	0	0	0	0	82,1	13,5
6	-1	+1	-1	+1	62,2	13,6	20	0	0	0	0	84	15,2
7	-1	+1	+1	-1	81,4	21,1	21	-2	0	0	0	11,8	5,4
8	-1	+1	+1	+1	97,3	28,6	22	+2	0	0	0	15,2	3,1
9	+1	-1	-1	-1	2,9	1,3	23	0	-2	0	0	42,1	5,2
10	+1	-1	-1	+1	9,6	2,5	24	0	+2	0	0	91,2	22,2
11	+1	-1	+1	-1	11,9	3,5	25	0	0	-2	0	2,2	4,8
12	+1	-1	+1	+1	46,2	5,7	26	0	0	+2	0	81,2	17,8
13	+1	+1	-1	-1	13,5	4,7	27	0	0	0	-2	27,2	2,7
14	+1	+1	-1	+1	16,6	11,4	28	0	0	0	+2	60,8	17,8

Tabela 2 – Matriz do planejamento e média da degradação do fenol e conversão do COT.

E*: Ensaios

3.3 Estudo da conversão do COT

A Tabela 3 exibe a repercussão dos fatores aplicados no processamento. Para as variáveis “(1)pH (L), (1)pH (Q), (2)Temp (L), (3) R (L), (4) Q (L), (4) Q (Q)” e suas interações “1L x 2L, 1L x 3L, 1L x 4L, 2L x 3L, 2L x 4L” o p-valor são menores que $\alpha = 0,05$, apresentando significância sobre os modelos de regressão.

As significâncias dos efeitos principais e das interações das variáveis para o planejamento em relação à degradação do fenol e conversão do COT estão representadas na Figura 4, no Gráfico de Pareto, onde (L) representa a parte linear e (Q) a parte quadrática do modelo. Os valores que ultrapassam a linha $p=0,05$ são aqueles que foram significativos para o intervalo de confiança de 95%.

Fatores	Efeitos	Erro Padrão	t (11) (Calc.)	p-valor	Estimativas por intervalo (95% de confiança)	
Média	13,98862	0,374121	37,3906	0,000042	12,79800	15,17924
(1)pH (L)	-4,35341	0,351296	-12,3924	0,001132	-5,47139	-3,23543
pH (Q)	-8,27734	0,530727	-15,5962	0,000573	-9,96635	-6,58833
(2)T (°C) (L)	9,09167	0,317105	28,6708	0,000093	8,08250	10,10084
T (°C) (Q)	0,38480	0,307831	1,2500	0,299919	-0,59486	1,36445
(3) R (%) (L)	6,64167	0,317105	20,9447	0,000238	5,63250	7,65084
R (%) (Q)	-0,81520	0,307831	-2,6482	0,077112	-1,79486	0,16445
(4)Q (L h ⁻¹) (L)	4,55833	0,317105	14,3748	0,000730	3,54916	5,56750
Q (L h ⁻¹) (Q)	-1,34020	0,307831	-4,3537	0,022387	-2,31986	-0,36055
1L x 2L	-1,83750	0,388373	-4,7313	0,017896	-3,07348	-0,60152
1L x 3L	-2,61250	0,388373	-6,7268	0,006707	-3,84848	-1,37652
1L x 4L	1,33750	0,388373	3,4439	0,041120	0,10152	2,57348
2L x 3L	3,31250	0,388373	8,5292	0,003386	2,07652	4,54848
2L x 4L	4,01250	0,388373	10,3316	0,001934	2,77652	5,24848
3L x 4L	0,18750	0,388373	0,4828	0,662288	-1,04848	1,42348

Tabela 3 - Estimativa dos efeitos para todas as variáveis e suas interações.

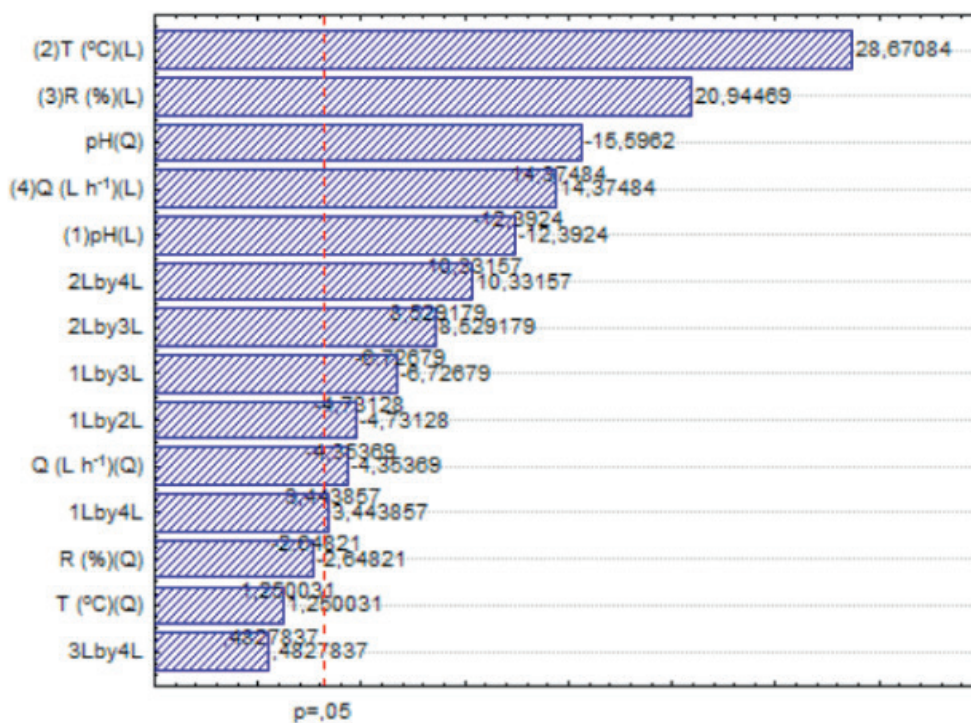


Figura 4 – Gráfico de Pareto do planejamento fatorial do tipo DCCR para X_{COT}

Na Tabela 4 estão apresentados os coeficientes de regressão, de acordo com as variáveis codificadas do planejamento experimental. A regressão foi utilizada para prever o valor da conversão do COT a partir dos valores dos fatores (pH, temperatura, razão molar fenol/H₂O₂, vazão de ar).

Fatores	Efeitos	Erro Padrão	t (11) (Calc.)	p-valor	Estimativas por intervalo (95% de confiança)	
Média	-7,70050	9,497837	-0,8108	0,476850	-37,9269	22,52586
(1)pH (L)	8,28111	0,642372	12,8915	0,001007	6,2368	10,32543
pH (Q)	-0,45985	0,029485	-15,5962	0,000573	-0,5537	-0,36602
(2)T (°C) (L)	-0,33290	0,227494	-1,4633	0,239570	-1,0569	0,39109
T (°C) (Q)	0,00192	0,001539	1,2500	0,299919	-0,0030	0,00682
(3) R (%) (L)	-0,15128	0,064597	-2,3419	0,101043	-0,3569	0,05429
R (%) (Q)	-0,00065	0,000246	-2,6482	0,077112	-0,0014	0,00013
(4)Q (L h ⁻¹) (L)	-0,21664	0,032299	-6,7074	0,006762	-0,3194	-0,11385
Q (L h ⁻¹) (Q)	-0,00027	0,000062	-4,3537	0,022387	-0,0005	-0,00007
1L x 2L	-0,03063	0,006473	-4,7313	0,017896	-0,0512	-0,01003
1L x 3L	-0,01742	0,002589	-6,7268	0,006707	-0,0257	-0,00918
1L x 4L	0,00446	0,001295	3,4439	0,041120	0,0003	0,00858
2L x 3L	0,00663	0,000777	8,5292	0,003386	0,0042	0,00910
2L x 4L	0,00401	0,000388	10,3316	0,001934	0,0028	0,00525
3L x 4L	0,00008	0,000155	0,4828	0,662288	-0,0004	0,00057

Tabela 4 - Coeficientes de regressão para a conversão do COT.

A Figura 5 representa o ajuste realizado entre os valores observados (experimentais) e os valores preditos (simulados). Nesta, foi observado que os pontos estão bem distribuídos ao longo da linha de tendência.

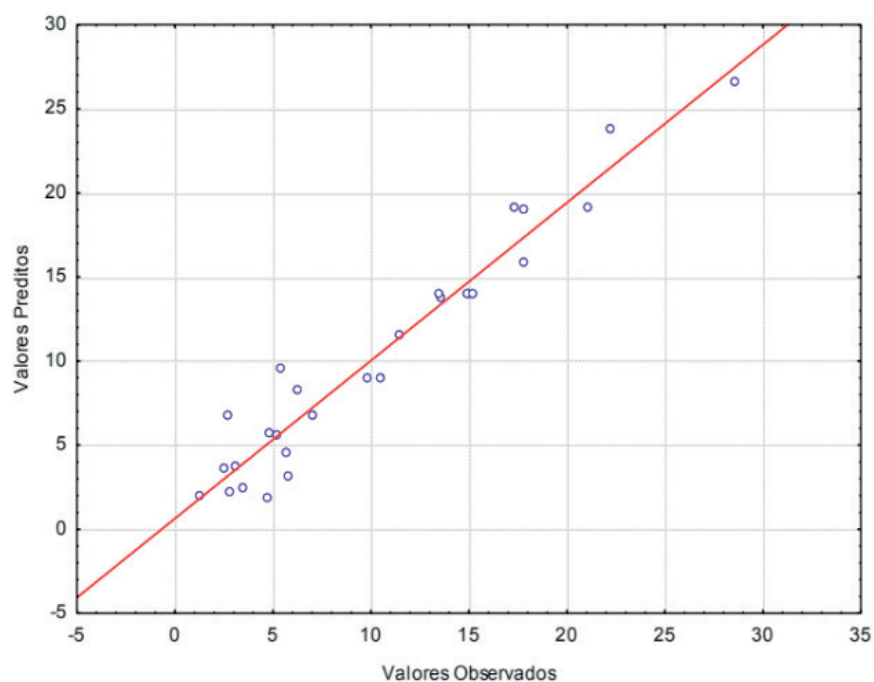


Figura 5 – Valores observados versus valores preditos pelo modelo para a conversão do COT.

A Equação 1 apresenta o modelo matemático para a conversão do COT em função dos coeficientes de regressão demonstrados na Tabela 4.

$$\begin{aligned}
Y_{\text{COT}} (\%) = & -7,70050 + 8,28111(\text{pH}) - 0,45985(\text{pH}^2) - 0,33290(\text{T}) + \\
& 0,00192(\text{T}^2) - 0,15128(\text{R}) - 0,00065(\text{R}^2) - 0,21664(\text{Q}) - 0,00027(\text{Q}^2) \\
& - 0,03063(\text{pH})(\text{T}) - 0,01742(\text{pH})(\text{R}) + 0,00446(\text{pH})(\text{Q}) + 0,00663(\text{T}) \\
& (\text{R}) + 0,00401(\text{T})(\text{Q}) + 0,00008(\text{R})(\text{Q})
\end{aligned}
\tag{1}$$

Apenas a temperatura (T) e a razão molar (R), respectivamente quadrática (Q), e, a interação entre a razão molar (R) e a vazão de ar (Q_{AR}), respectivamente Linear (L), não foram significativas para a conversão de COT.

A Figura 6 representa a superfície de resposta para a relação entre a Temperatura e o pH sobre a conversão do COT. Pode-se notar que para valores de pH 7 e temperaturas de 90°C a conversão do COT apresenta valores próximos a 20%.

A Figura 7 representa a superfície de resposta para a interação entre a razão molar fenol/ H_2O_2 e o pH sobre a conversão do COT. Nesta, pode ser observado que para valores de pH 7 e uma razão molar fenol/ H_2O_2 de 100% a conversão do COT apresenta valores próximos a 20%.

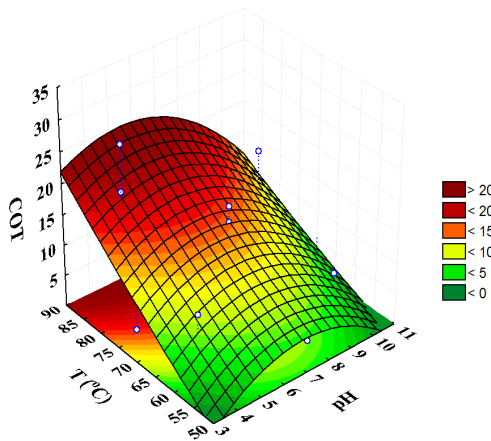


Figura 6 – Superfície de resposta do pH e T para a conversão do COT. R=50% e Q=100 (NL.h⁻¹).

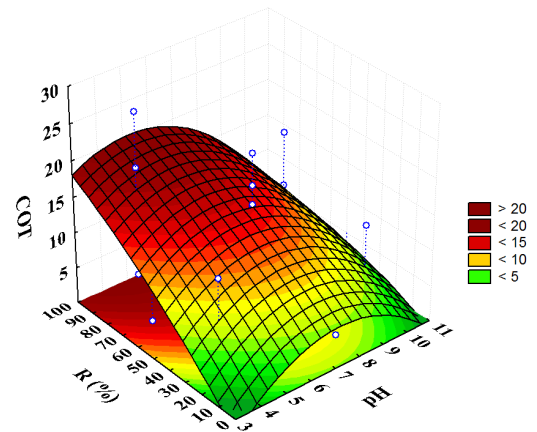


Figura 7 – Superfície de resposta do pH e R para a conversão do COT. R=50% e Q=100 (NL.h⁻¹).

A Figura 8 representa a superfície de resposta para a interação entre a vazão de ar e o pH sobre a conversão do COT. Nesta, pode ser observado que para valores de pH 7, e vazão de ar acima de 100 NL.h⁻¹, a conversão do COT obtêm valores próximos a 15%.

A Figura 9 representa a superfície de resposta para a interação entre a temperatura e a razão molar fenol/ H_2O_2 sobre a conversão do COT. Nesta, pode ser observado que para altos valores de temperatura e de razão molar fenol/ H_2O_2 observa-se uma melhor conversão do COT atingindo valores próximos a 35%.

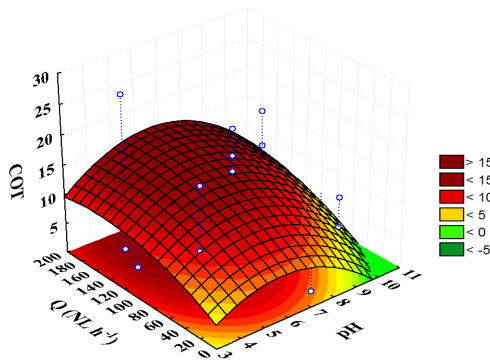


Figura 8 – Superfície de resposta do pH e Q_{AR} para a conversão do COT. $T=70^{\circ}\text{C}$ e $R=50\%$.

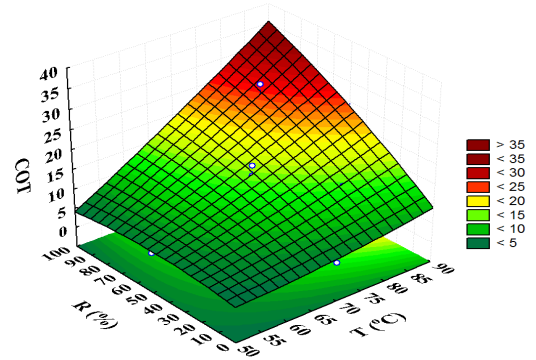


Figura 9 – Superfície de resposta da T e de R para a conversão do COT. $\text{pH}=7$ e $Q=100(\text{NL.h}^{-1})$.

A Figura 10 demonstra a superfície de resposta para a relação entre a temperatura e a vazão de ar sobre a conversão do COT. Pode-se notar que para altos valores de temperatura e de vazão de ar percebe-se uma melhor conversão do COT atingindo valores próximos a 30%.

A Figura 11 representa a superfície de resposta para a interação entre a razão molar fenol/ H_2O_2 e a vazão de ar sobre a conversão do COT. Nesta, pode ser observado que para altos valores da razão fenol/ H_2O_2 (R igual a 100%) e para uma vazão de ar acima de 100 NL.h^{-1} pode ser observado uma melhor conversão do COT atingindo valores próximos a 20%.

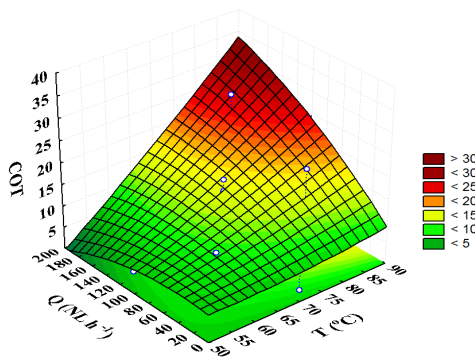


Figura 10 – Superfície de resposta da T e Q_{AR} para a conversão do COT. $\text{pH}=7$ e $R=50\%$.

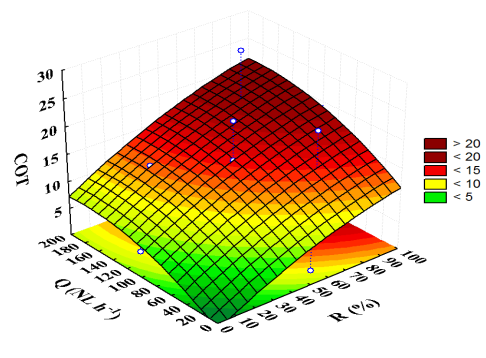


Figura 11 – Superfície de resposta de R e Q_{AR} para a conversão do COT. $\text{pH}=7$ e $T=70^{\circ}\text{C}$.

3.1 Estudo da degradação do fenol

A Tabela 5 apresenta os efeitos das variáveis utilizadas no processo. Para as variáveis “(1)pH (L), pH (Q), (2)Temp (L), (3) R (L), R (Q), (4) Q (L), Q (Q)” e suas interações “1L x 2L, 1L x 3L, 1L x 4L, 2L x 3L, 3L x 4L” o p-valor são menores que $\alpha = 0,05$, apresentando significância sobre os modelos de regressão.

Na Figura 12 está representado o Diagrama de Pareto com todos os efeitos das variáveis e de suas interações. Nesta figura todos os efeitos estão representados na

forma de retângulos, sendo significativos aqueles que ultrapassam a linha divisória ($p > 0,05$).

Fatores	Efeitos	Erro Padrão	t(3) Calc.	p-valor	-95% Int. Conf.	+95% Int. Conf.
Média	77,4352	0,379253	204,178	0,000000	76,2282	78,6421
(1)pH (L)	-38,5534	0,356115	-108,261	0,000002	-39,6867	-37,4201
pH (Q)	-49,3894	0,538008	-91,801	0,000003	-51,1016	-47,6773
(2)T (°C) (L)	16,1583	0,321455	50,266	0,000017	15,1353	17,1813
T (°C) (Q)	-0,9407	0,312054	-3,015	0,057005	-1,9338	0,0524
(3) R (%) (L)	21,8417	0,321455	67,946	0,000007	20,8187	22,8647
R (%) (Q)	-13,4157	0,312054	-42,992	0,000028	-14,4088	-12,4226
(4)Q (L h ⁻¹) (L)	9,7083	0,321455	30,201	0,000080	8,6853	10,7313
Q (L h ⁻¹) (Q)	-12,2657	0,312054	-39,306	0,000036	-13,2588	-11,2726
1L x 2L	-7,1875	0,393700	-18,256	0,000359	-8,4404	-5,9346
1L x 3L	5,7625	0,393700	14,637	0,000692	4,5096	7,0154
1L x 4L	8,8625	0,393700	22,511	0,000192	7,6096	10,1154
2L x 3L	6,4125	0,393700	16,288	0,000504	5,1596	7,6654
2L x 4L	1,0625	0,393700	2,699	0,073864	-0,1904	2,3154
3L x 4L	5,6125	0,393700	14,256	0,000748	4,3596	6,8654

Tabela 5- Estimativa dos efeitos para todas as variáveis e suas interações.

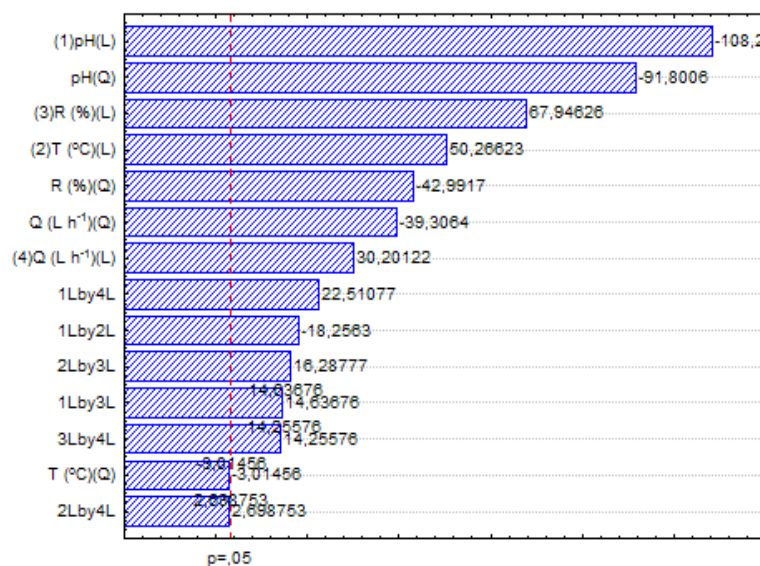


Figura12 – Diagrama de Pareto com as estimativas dos efeitos.

Na Tabela 6 estão apresentados os coeficientes de regressão, de acordo com as variáveis codificadas do planejamento experimental. A regressão foi utilizada para prever o valor da degradação do fenol a partir dos valores dos fatores (pH, temperatura, razão molar fenol/H₂O₂, vazão de ar).

Fatores	Efeitos	Erro Pa- drão	t (11) (Calc.)	p-valor	Estimativas por intervalo	
					(95% de confiança)	
Média	-135,572	9,628129	-14,0808	0,000776	-166,213	-104,931
(1)pH (L)	35,499	0,651184	54,5144	0,000014	33,427	37,571
pH (Q)	-2,744	0,029889	-91,8006	0,000003	-2,839	-2,649
(2)T (°C) (L)	1,557	0,230614	6,7535	0,006632	0,824	2,291
T (°C) (Q)	-0,005	0,001560	-3,0146	0,057005	-0,010	0,000
(3) R (%) (L)	0,119	0,065484	1,8161	0,166974	-0,089	0,327
R (%) (Q)	-0,011	0,000250	-42,9917	0,000028	-0,012	-0,010
(4)Q (L h ⁻¹) (L)	0,194	0,032742	5,9342	0,009565	0,090	0,298
Q (L h ⁻¹) (Q)	-0,002	0,000062	-39,3064	0,000036	-0,003	-0,002
1L x 2L	-0,120	0,006562	-18,2563	0,000359	-0,141	-0,099
1L x 3L	0,038	0,002625	14,6368	0,000692	0,030	0,047
1L x 4L	0,030	0,001312	22,5108	0,000192	0,025	0,034
2L x 3L	0,013	0,000787	16,2878	0,000504	0,010	0,015
2L x 4L	0,001	0,000394	2,6988	0,073864	-0,000	0,002
3L x 4L	0,002	0,000157	14,2558	0,000748	0,002	0,003

Tabela 6 – Coeficientes de regressão para a degradação do fenol.

A Figura 13 representa o ajuste realizado entre os valores observados (experimentais) e os valores preditos (simulados).

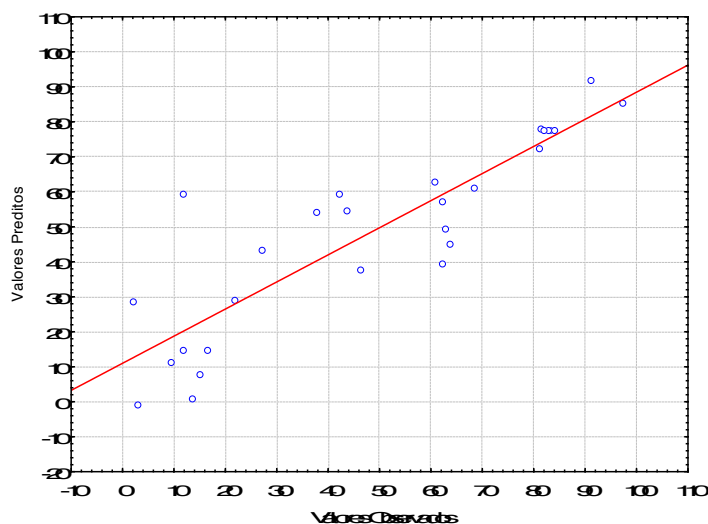


Figura 13- Valores observados versus valores preditos pelo modelo para a degradação do fenol.

A Equação 2 apresenta o modelo matemático para a degradação do fenol em função dos coeficientes de regressão demonstrados na Tabela 6.

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{COT}} (\%) = & - 135,572 + 35,499 (\text{pH}) - 2,744 (\text{pH}^2) + 1,557 (T) - 0,005 (T^2) \\
 & + 0,119 (R) - 0,011 (R^2) + 0,194 (Q) - 0,002 (Q^2) - 0,120 (\text{pH}) (T) + 0,038 \\
 & (\text{pH}) (R) + 0,030 (\text{pH}) (Q) + 0,013 (T) (R) + 0,001 (T) (Q) + 0,002 (R) (Q)
 \end{aligned} \quad (2)$$

A temperatura (T) quadrática (Q) e a interação entre a temperatura (T) e vazão de ar (Q_{AR}), respectivamente Linear (L), não foram significativas para a degradação do fenol.

A Figura 14 representa a superfície de resposta para a interação entre a Temperatura e o pH sobre a degradação do fenol. Nesta, pode ser observado que para temperatura de 90° C e pH 7, a degradação do fenol atinge valores próximos a 90%.

A Figura 15 representa a superfície de resposta para a interação entre a razão molar fenol/ H_2O_2 e o pH sobre a degradação do fenol. Nesta, pode ser observado que para valores do pH 7 e razão molar fenol/ H_2O_2 acima de 50% a degradação do fenol apresenta valores próximos a 80%.

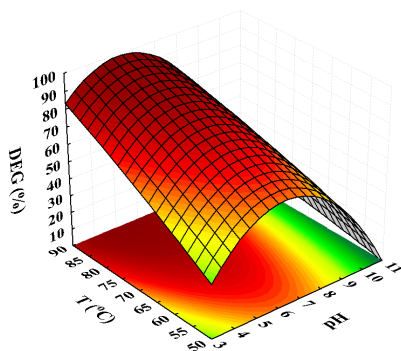


Figura 14 – Superfície de resposta do pH e T para a degradação do fenol. R=50% e Q=100 NL.h⁻¹.

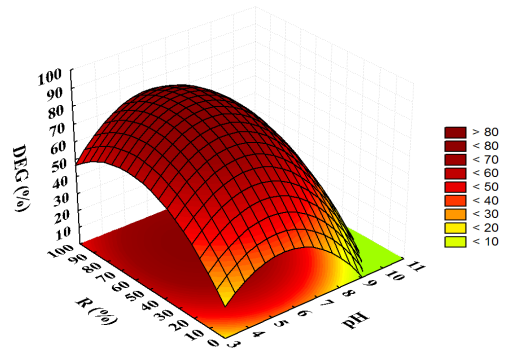


Figura 15 – Superfície de resposta do pH e R para a degradação do fenol. T=70°C e Q=100 NL.h⁻¹.

A Figura 16 representa a superfície de resposta para a interação entre a vazão de ar e o pH sobre a degradação do fenol. Nesta, pode ser observado que a degradação do fenol atinge valores próximos a 80% para pH 7 e vazão de ar acima de 100 NL.h⁻¹.

A Figura 17 apresenta a superfície de resposta para a interação entre a temperatura e a razão molar fenol/ H_2O_2 sobre a degradação do fenol. Nesta, pode ser observado que para altos valores de temperatura (próximos de 90°C) e de razão molar fenol/ H_2O_2 (R de 75% a 100%) pode ser analisado uma melhor degradação do fenol, atingindo valores próximos a 100%.

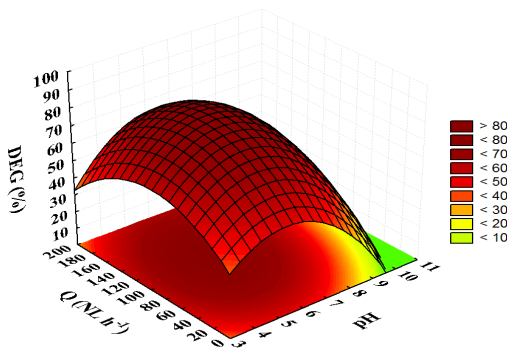


Figura 16 – Superfície de resposta do pH e Q para a degradação do fenol. T=70°C e R=50%.

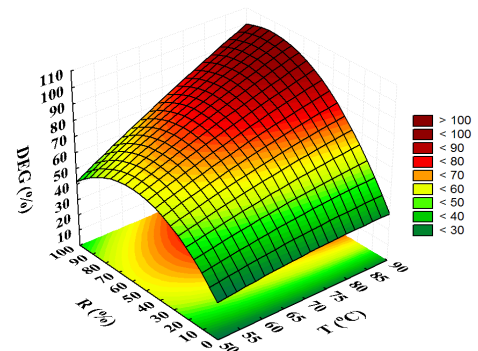


Figura 17 – Superfície de resposta de T e R para a degradação do fenol. pH=7 e Q=100NL.h⁻¹.

A Figura 18 representa a superfície de resposta para a interação entre a temperatura e a vazão de ar sobre a degradação do fenol. Nesta, pode ser verificado que para altos valores de temperatura (próximos de 90°C) e para uma vazão de ar de 100 NL.h⁻¹ foi observado degradação próximo a 90%.

A Figura 19 representa a superfície de resposta para a interação entre a razão molar fenol/H₂O₂ e a vazão de ar sobre a degradação do fenol. Nesta, pode ser verificado que para altos valores da razão fenol/H₂O₂ (R de 60% a 100%) e de vazão de ar (Q acima de 100 NL.h⁻¹) foi observado uma melhor degradação do fenol, próximo a 80%.

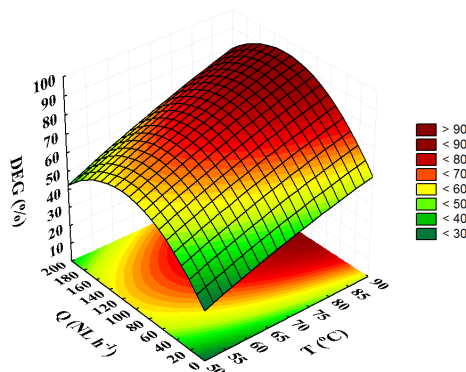


Figura 18 – Superfície de resposta de T e Q para a degradação do fenol. pH=7 e R=50%.

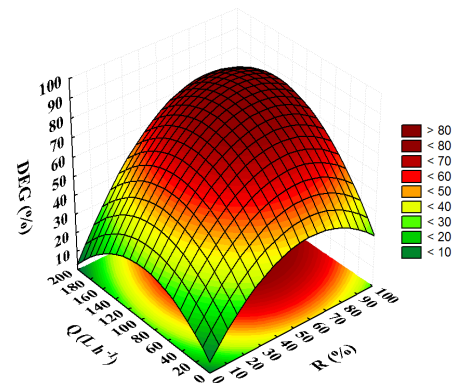


Figura 19 – Superfície de resposta da Q e R para a degradação do fenol. pH=7 e T=70°C.

4 | CONDIÇÕES ÓTIMAS IDENTIFICADAS

A partir do teste F, tem-se que o $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$, portanto, o modelo quadrático é considerado válido para a degradação do fenol e conversão do COT, logo, descreve satisfatoriamente a superfície de resposta. Com os resultados obtidos no planejamento do tipo DCCR, foi possível determinar a condição ótima com o auxílio do software *STATISTICA* versão 8.0.

Um experimento foi realizado em triplicata nas condições ótimas de temperatura (90°C), razão molar (100%), pH (7) e vazão de ar (100 NL.h⁻¹) onde foi obtida a média aritmética dos valores de degradação do fenol superior a 99% (Figura 20) e a média da conversão do COT de 70% (Figura 21 A). Nesta etapa, as análises do COT foram realizadas em intervalos de tempo menores. A Figura 21 representa os resultados do perfil temporal do COT versus tempo (Figura 21 A) e do perfil do pH versus tempo (Figura 21 B), do líquido presente no reator PARR, nas condições operacionais ótimas do processo (T=90°C; R=100%, pH=7 e Q_{AR}=100 NL.h⁻¹).

Analisando os dados da Figura 21 B foi observado que ao longo do processo o pH do meio diminui até ficar constante e igual a 3. Isso ocorre devido à formação de ácidos durante o processo de oxidação, onde o fenol é degradado formando intermediários

aromáticos, tais como o catecol e a hidroquinona, e em seguida estes são degradados dando origem a diversos tipos de ácidos, até que sejam convertidos em CO_2 e H_2O (DEVLIN; HARRIS, 1984). A partir desta redução do pH pode ser concluído, que em 10 minutos de processo uma parte do fenol e de seus intermediários já foi degradada, dando origem a diversos tipos de ácidos.

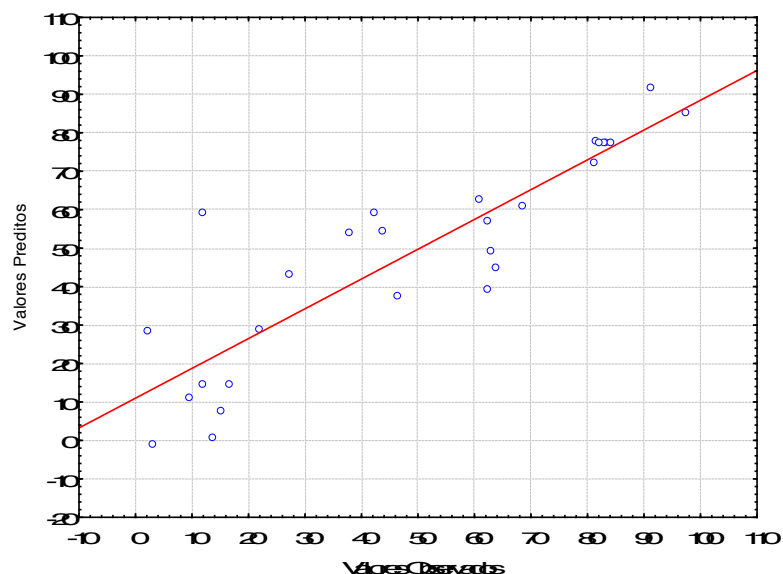


Figura 20- Valores observados versus valores preditos pelo modelo para a degradação do fenol.

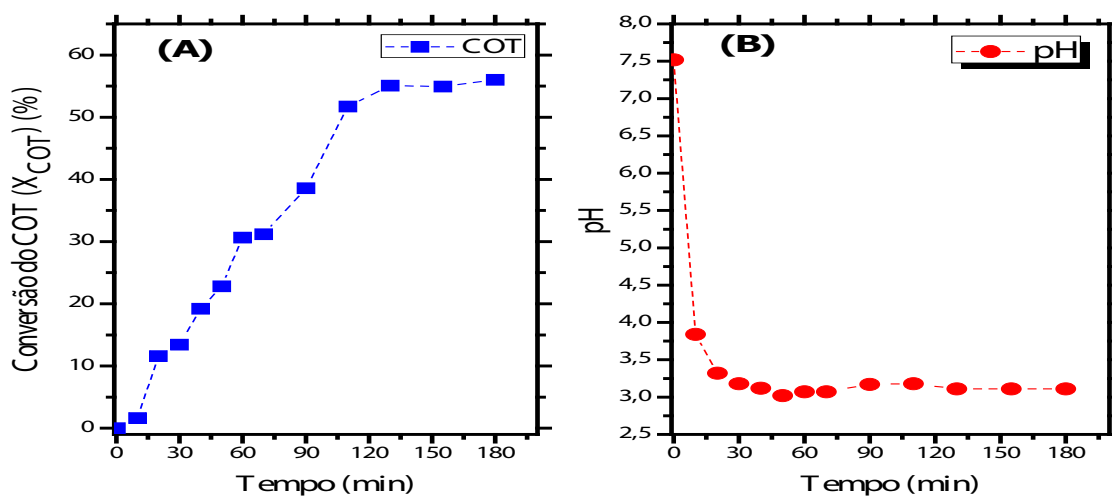


Figura 21 – Evolução da: **A)** Conversão do COT e **B)** pH, respectivamente, em função do tempo. ($T=90^{\circ}\text{C}$; $R=100\%$ e $Q_{AR}=100 \text{ NL.h}^{-1}$).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível observar que todas as variáveis operacionais foram significativas dentro do intervalo estudado. Para o efeito da razão molar fenol/peróxido (R), foi confirmado que a presença de um agente oxidante é fundamental para que ocorra o processo de oxidação do composto orgânico. No ensaio 25 em que não teve a adição do peróxido de hidrogênio, os níveis de degradação do fenol e conversão

do COT foram baixos, devido à ausência de um agente oxidante responsável pela formação dos radicais hidroxilas. Observou-se também, que com o aumento da Temperatura (T) do meio, o processo de oxidação foi favorecido, alcançando valores maiores na degradação do fenol e na conversão do COT. No ensaio realizado com as condições otimizadas do processo ($T=90^{\circ}\text{C}$; $R=100\%$ e $Q_{AR}=100 \text{ NL}\cdot\text{h}^{-1}$), a degradação do fenol e a conversão do COT alcançaram valores mais elevados de 99% e 70%, respectivamente, sendo mais significativo para a conversão do COT. Nesta etapa, foi possível observar que a oxidação do fenol começa a ocorrer com pelo menos 10 minutos de reação, devido à redução de pH do meio, pela formação de ácidos a partir da oxidação do fenol.

6 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Capes pelo financiamento da pesquisa, à UFPE por ceder o laboratório de pesquisa, ao professor doutor Mohand Benachour que nos deu todo apoio no laboratório, à orientadora professora doutora Yana Batista que com todo o suporte em todos os momentos ensinou o manuseamento dos equipamentos, e a DEUS, que proporcionou todo ensinamento e sabedoria.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, Y.; TEODOSIO, J.; BENACHOUR, M.; OLIVEIRA, J.; MARINHO, I.; FIGUEIRÊDO, F.; ANSELMO-FILHO, P. **Estudo do efeito do excesso de ar e da potência dissipada do queimador sobre as capacidades do processo DiCTT no tratamento de efluentes líquidos fenólicos.** *Rev. Iberoam. Sist. Cib. Inf.* 7:1–9, 2010.

BRANDÃO, Y. B. **Tratamento Térmico Por Contato Direto (dictt) de Efluentes Líquidos Fenólicos Em Uma Planta Semi-industrial: Estudo Experimental e Modelagem do Processo Por Redes Neurais Artificiais.** 2012. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco.

BRASIL - **Conselho Nacional do Meio Ambiente** – CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, Brasília - Brasil.

CASTRO, J. P.; FARIA, P. **Oxidação química com reagente e fenton. Projeto de Investigação.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, 2001.

DEVLIN, H. R.; HARRIS, I. J. **Mechanism of the oxidation of aqueous phenol with dissolved oxygen.** *Ind. Eng. Chem. Res.* v. 233, p. 87–92, 1984.

FONSECA, J. C. L.; SILVA, M. R. A.; BAUTITZ, I. R.; NOGUEIRA, R. F. P.; MARCHI, M. R. R. **Avaliação da confiabilidade analítica das determinações de carbono orgânico total (COT).** *Eclética. Quim.* 31:47–52, 2006.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Rio de Janeiro, RJ). **Orientação sobre validação de métodos de ensaios químicos.** DOQ-CGCRE-008, 03 fev. 2010.

LI, L.; CHEN, P.; GLKOYNA, E. F. **Generalized kinetic model for wet oxidation of organic compounds.** *AIChE J.*, v.11, n 37, p. 1687-1697, 1991.

RODRIGUES, G. D.; SILVA, L. H. M; SILVA, M. C. H. **Alternativas verdes para o preparo de amostra e determinação de poluentes fenólicos em água.** *Quim. Nova.* v. 33, n. 6, p. 1370–1378, 2010.

SOBRE A ORGANIZADORA:

Marcia Regina Werner Schneider Abdala: Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-65-9

