

Engenharias, Ciência e Tecnologia 4

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)



Atena
Editora
Ano 2019

Luís Fernando Paulista Cotian

(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

4

Atena Editora

2019

2019 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)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 4 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-087-2

DOI 10.22533/at.ed.872193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

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.

2019

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

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume IV apresenta, em seus 29 capítulos, conhecimentos relacionados a Modelagem, Análise e Simulação relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Programação Matemática, Decisão Multicriterial e Teoria da Decisão e Teoria dos Jogos.

A área temática de Modelagem, Análise e Simulação trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na tomada de decisão, desde a modelagem e simulação até a análise dos resultados envolvendo assuntos relacionados a engenharia. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Modelagem, Análise e Simulação e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA	
<i>Douglas Freitas Augusto dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931011	
CAPÍTULO 2	11
ALGORITMOS EVOLUTIVOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO OFF-LINE DE UM MAPA COGNITIVO FUZZY DE UM MISTURADOR INDUSTRIAL	
<i>Márcio Mendonça</i>	
<i>Edson Hideki Koroishi</i>	
<i>Lillyane Rodrigues Cintra</i>	
<i>Lucas Botoni de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931012	
CAPÍTULO 3	19
APLICAÇÕES MATEMÁTICAS EM MEDIDAS AGRÁRIAS: UM CONHECIMENTO ETNOMATEMÁTICO DO HOMEM DO CAMPO CONTEXTUALIZADO COM O CONTEÚDO ESCOLAR	
<i>Deonísio Hul</i>	
<i>Silton José Dziadzio</i>	
<i>Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931013	
CAPÍTULO 4	34
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA CONEXÃO DE UMA UNIDADE GERADORA DISTRIBUÍDA A UM ALIMENTADOR DE 13,8 KV UTILIZANDO O ATP	
<i>Jaqueline Oliveira Rezende</i>	
<i>Larissa Marques Peres</i>	
<i>Geraldo Caixeta Guimarães</i>	
<i>Marcelo Lynce Ribeiro Chaves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931014	
CAPÍTULO 5	46
CÁLCULO FRACIONÁRIO APLICADO À GENERALIZAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE BAGAÇO DE UVA	
<i>Amanda Peruzzo da Motta</i>	
<i>Bruna de Souza Nascimento</i>	
<i>Fernanda Batista de Souza</i>	
<i>Douglas Junior Nicolin</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931015	
CAPÍTULO 6	57
CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO BAGAÇO DE CANA	
<i>Edvan Vinícius Gonçalves</i>	
<i>Wardleison Martins Moreira</i>	
<i>Emanuel Souza Barros</i>	
<i>Sérgio Inácio Gomes</i>	
<i>Marcos de Souza</i>	
<i>Luiz Mario de Matos Jorge</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931016	

CAPÍTULO 7 67

CONTAGEM AUTOMÁTICA DE OVOS DO AEDES AEGYPTI EM PALHETAS DE OVITAMPAS: UM SISTEMA PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Carlos Diego Franco da Rocha
Ayla Márcia Cordeiro Bizerra
Demétrios Araújo Magalhães Coutinho
Luiz Fernando Virginio da Silva
Michel Santana de Deus
Phablo Márcio de Paiva Souto

DOI 10.22533/at.ed.8721931017

CAPÍTULO 8 75

CONTROLADOR FUZZY MAMDANI APLICADO À NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA EM AMBIENTE DESCONHECIDO VARIANTE NO TEMPO

Eduardo Vilela Pierangeli
Jordann Alessander Rosa Almeida
Marcelo Vilela Pierangeli

DOI 10.22533/at.ed.8721931018

CAPÍTULO 9 82

CONTROLE ROBUSTO APLICADO EM UMA VIGA DE MATERIAL COMPÓSITO VISANDO ATENUAÇÃO DE VIBRAÇÕES

Camila Albertin Xavier da Silva
Daniel Almeida Colombo
Edson Hideki Koroishi
Albert Willian Faria

DOI 10.22533/at.ed.8721931019

CAPÍTULO 10 96

ESTRATÉGIAS HEURÍSTICAS PARA POSICIONAMENTO DE UNIDADES DE MEDIÇÃO FASORIAL

Marcio André Ribeiro Guimaraens
Julio Cesar Stacchini de Souza
Milton Brown Do Coutto Filho
Breno Crespo Zeba

DOI 10.22533/at.ed.87219310110

CAPÍTULO 11 109

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB NO PERÍODO DE 1984 A 2016

Márcia de Lacerda Santos
Thayse Bezerra da Silva
Maria Raiana Almeida Silva
Danielle Leal Barros Gomes

DOI 10.22533/at.ed.87219310111

CAPÍTULO 12 116

FLAMBAGEM LINEAR E NÃO-LINEAR UTILIZANDO UMA ANÁLISE NUMÉRICA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Rodrigo Villaca Santos
Leticia Barizon Col Debella

DOI 10.22533/at.ed.87219310112

CAPÍTULO 13..... 121

GEOLOGIA DA SERRA DO CARAÇA: PERFIS REAIS

Carolina Cristiano Barbosa
Ariadne Duarte Libutti Nuñez
Adriane Abreu Cadar
Alexandre Motta Tunes
Bárbara Alves Oliveira
Ulisses Cyrino Penha

DOI 10.22533/at.ed.87219310113

CAPÍTULO 14..... 132

GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO: PREVISÃO DE COMPORTAMENTO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Josué Domingos da Silva Neto
Débora Cristina Almeida de Assis
Nayra Vicente Sousa da Silva
Zenilda Vieira Batista

DOI 10.22533/at.ed.87219310114

CAPÍTULO 15..... 143

INFLUÊNCIA DA INÉRCIA A TORÇÃO NO MOMENTO FLETOR DE PLACAS MACIÇAS DE CONCRETO

Leticia Barizon Col Debella
Rodrigo Villaca Santos

DOI 10.22533/at.ed.87219310115

CAPÍTULO 16..... 149

METODOLOGIA DE CONTROLE PREVENTIVO BASEADA EM ÁRVORE DE DECISÃO PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA ESTÁTICA E DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO DA ELETRONORTE

Ubiratan Holanda Bezerra
João Paulo Abreu Vieira
Werboston Douglas de Oliveira
Daniel Augusto Martins
Dione José Abreu Vieira
Bernard Carvalho Bernardes
Benedito das Graças Duarte Rodrigues
Vilson Castro

DOI 10.22533/at.ed.87219310116

CAPÍTULO 17 166

O WATSON DA IBM

Eduardo Bruno de Almeida Donato
Amanda Moura Camilo

DOI 10.22533/at.ed.87219310117

CAPÍTULO 18..... 173

PROTÓTIPO DE UM PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE A PARTIR DA LEI DE DARCY

Guilherme Medina Cameu
Victor Araujo Figueredo Fischer
Wataru Iwamoto
Rômulo Henrique Batista de Farias

DOI 10.22533/at.ed.87219310118

CAPÍTULO 19 178

SIMULADOS ELETRÔNICOS DO PROCESSO SELETIVO DO IFPR: INSTRUMENTO DE DIVULGAÇÃO E DEMOCRATIZAÇÃO DO ENSINO

João Henrique Berssanette
Antonio Carlos de Francisco
Fabiane Ferreira
Maria Fernanda Müller Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.87219310119

CAPÍTULO 20 188

SOLARIZAÇÃO DO SOLO E BIOFUMIGAÇÃO NA VIABILIDADE DE SCLEROTIUM ROLFSSII

João Luiz Lopes Monteiro Neto
Roberto Tadashi Sakazaki
Raphael Henrique da Silva Siqueira
Carlos Abanto-Rodríguez
Sonicley da Silva Maia
Rannyonara Oliveira Rodrigues
Lucas Aristeu Anghinoni dos Santos
Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

DOI 10.22533/at.ed.87219310120

CAPÍTULO 21 194

SYNOPTERO: RECONSTRUINDO O MUNDO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DO BIDIMENSIONAL

Lucas Maquedano da Silva
Marcos Cesar Danhoni Neves
Fernanda Tiemi Karia
Gabriel Francischini de Oliveira
Leandro Moraes Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.87219310121

CAPÍTULO 22 202

TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL

Lucas Rosa de Almeida
Marcelo Vieira-Filho
Sílvia Yanagi
Marcelo Ribeiro Viola

DOI 10.22533/at.ed.87219310122

CAPÍTULO 23 217

TEORIA NA PRÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS PRINCIPAIS PARTIDAS DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

Murilo Miceno Frigo
Paulo Irineu Koltermann

DOI 10.22533/at.ed.87219310123

CAPÍTULO 24 229

UM ALGORITMO ITERATED LOCAL SEARCH PARA O STABLE MATCHING PROBLEM APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ALUNOS NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO

Robson Vieira de Oliveira
Matheus Correia Teixeira
Marco Antonio Bonelli Junior

DOI 10.22533/at.ed.87219310124

CAPÍTULO 25 242

USO DE IMAGENS SENTINEL - 2A E O ALGORITMO SVM PARA MONITORAR AS APP DE NASCENTES E CURSOS D'AGUA DO RIBEIRÃO MARANHÃO, LAVRAS, MG

Ester Afonso
Katyanne Conceição
Beatriz Campos
Franklin Inácio
Margarete Volpato
Helena Alves

DOI 10.22533/at.ed.87219310125

CAPÍTULO 26 249

UTILIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIFERENCIAL EM PROBLEMAS INVERSOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE UMA VIGA EULER-BERNOULLI

Rennan Otavio Kanashiro
Edson Hideki Koroishi
Fabian Andres Lara-Molina

DOI 10.22533/at.ed.87219310126

CAPÍTULO 27 258

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

Eduardo Hélio de Novais Miranda
Rodrigo Allan Pereira
Francisco Carlos Gomes
Roberto Alves Braga Junior
Fernando Pujaico Rivera
Lucas Henrique Pedrozo Abreu

DOI 10.22533/at.ed.87219310127

CAPÍTULO 28 264

UTILIZAÇÃO DO SENSOR PT100 NO ARDUINO PARA CAPTAÇÃO DA TMR

Mariana Espíndola Vieira
Helena Dufau
Christian Muller
Anderson Ferrugem
Antonio Silva
Rafael Soares

DOI 10.22533/at.ed.87219310128

CAPÍTULO 29 269

DINÂMICA DE ESCOAMENTOS PARTICULADOS EM DUTOS VERTICAIS

Diego Nei Venturi
Francisco José De Souza

DOI 10.22533/at.ed.87219310129

SOBRE O ORGANIZADOR 280

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO BAGAÇO DE CANA

Edvan Vinícius Gonçalves

Universidade Estadual de Maringá, Departamento
de Engenharia Química
Maringá – Paraná

Wardleison Martins Moreira

Universidade Estadual de Maringá, Departamento
de Engenharia Química
Maringá – Paraná

Emanuel Souza Barros

Universidade Estadual de Maringá, Departamento
de Engenharia Química
Maringá – Paraná

Sérgio Inácio Gomes

Universidade Estadual de Maringá, Departamento
de Engenharia Química
Maringá – Paraná

Marcos de Souza

Universidade Estadual de Maringá, Departamento
de Engenharia Química
Maringá – Paraná

Luiz Mario de Matos Jorge

Universidade Estadual de Maringá, Departamento
de Engenharia Química
Maringá – Paraná

RESUMO: Este trabalho examinou a cinética de degradação térmica do bagaço de cana-de-açúcar em meio reduzido e em condição não isotérmica. Os resultados mostraram que o modelo que melhor representa os dados experimentais é expresso pelo mecanismo

reacional de 3ª ordem. As diferenças nos desvios em relação aos outros modelos que consideram reações químicas foram desprezíveis do ponto de vista do ajuste de parâmetros e da simulação. **PALAVRAS-CHAVE:** Degradação térmica. Cinética. Modelagem. Simulação. Otimização.

ABSTRACT: This work studied the thermal degradation kinetics of sugarcane bagasse carried out in reduced medium and for non-isothermal condition. The results showed the model that best represents experimental data is expressed by 3rd order reaction mechanism. Differences in deviations from other models considering chemical reactions were negligible from the point of view of parameter adjustment and simulation.

KEYWORDS: Thermal degradation. Kinetics. Modeling. Simulation. Optimization.

1 | INTRODUÇÃO

No mundo há uma contínua preocupação quanto à eficácia futura no abastecimento de todas as atividades requerentes de energia, incluindo meios de transporte, aplicações industriais e abastecimento de comércios, meios de serviços e residências, entre outros. A situação momentânea manifesta, sistematicamente, uma dependência massificada de fontes não

renováveis de energia, sobretudo dos combustíveis fósseis. Logo, há uma busca acentuada por opções energéticas que assumam não só o compromisso de não esgotamento de suas reservas, ou seja, fontes renováveis de energia; mas que, ao mesmo tempo, sejam economicamente praticáveis e respeitem todos os esforços ligados à proteção ambiental e ao desenvolvimento sustentável.

A degradação térmica da biomassa para a obtenção de energia e carvão apresenta inúmeras vantagens. No que tange ao meio ambiente, é evidente que a disseminação do uso de combustíveis produzidos a partir da biomassa acarretará na diminuição da dependência de fontes não renováveis de energia, na neutralidade de dióxido de carbono emitido para a atmosfera durante a queima dos combustíveis, e na disposição final de resíduos de indústrias, de colheitas, de florestas, de lodo de esgoto, de estrume de porco e de algas, entre outros. Do ponto de vista técnico e econômico, a conversão da biomassa possui um amplo quadro de possibilidades quando integrada a plantas industriais geradoras de resíduos. Esta opção torna exequível a otimização energética e econômica das etapas de formação e de utilização dos vários produtos e subprodutos (SOLANTAUSTA *et al.*, 2012; OASMAA *et al.*, 2010; MEIER *et al.*, 2013; HAMEED *et al.*, 2007). Desse modo, firmados os passos da viabilidade técnica, abre-se caminho para um vasto proveito econômico, comportando, dessa maneira, a diminuição da dependência do petróleo, essencialmente o estrangeiro (MOHAN *et al.*, 2006), e a baixa dos custos praticados pelas indústrias empregadoras de carvão ativado (DIAS *et al.*, 2007).

A pirólise consiste no processo de decomposição termoquímica da biomassa em atmosfera inerte. Este tipo de processo resulta na transformação da biomassa em 3 frações principais: líquido de pirólise, carvão que posteriormente pode ser queimado, ativado ou empregado em técnicas de melhoramento de solos (KUPPENS *et al.*, 2014; MULLEN *et al.*, 2010) e gases (óxidos de carbono, hidrogênio e hidrocarbonetos). É importante ressaltar que tanto o rendimento quanto as características químicas e físicas do bio-óleo, do carvão e dos gases gerados a partir do processo pirolítico estão intimamente ligados às variáveis de processo (umidade da biomassa, tamanho das partículas, pré-tratamento, configurações do reator, fornecimento de calor, transferência de calor, taxa de aquecimento, temperatura de reação e tempo de residência do vapor formado) (MOHAN *et al.*, 2006).

O desenvolvimento de equipamentos adequados para a conversão termoquímica da biomassa requer uma visão mais aprofundada sobre a cinética e o mecanismo de decomposição térmica da biomassa. Considerando que no ano de 2014 as usinas de açúcar e álcool conjuntamente ofertaram no mercado mais de 186 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar (UDOP, 2015), este trabalho visou investigar o comportamento do bagaço de cana durante a degradação térmica e avaliar modelos cinéticos para este processo.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dados de Análise Termogravimétrica (ATG) são empregados com freqüência para a determinação de parâmetros cinéticos. Análises matemáticas de mínimos quadrados podem ser aplicadas para obtenção dos ajustes dos parâmetros conforme a seguinte expressão (VÁRHEGYI *et al*, 1997):

$$S_{min} = \sum_{i=1}^N (X_{i_{calc}} - X_{i_{exp}})^2 \quad (1)$$

em que S_{min} é a função objetivo a ser reduzida, $X_{i_{calc}}$ é o valor da variável resposta calculada por meio de modelo matemático, $X_{i_{exp}}$ é o valor da variável resposta advinda do experimento, i representa o índice da i ésima observação experimental e N é o número total de observações.

O desvio entre os valores calculados e os resultados experimentais também podem ser obtido com função normalizada em relação ao maior valor calculado, onde:

$$Devio(\%) = 100 \frac{\left[\sum_{i=1}^N (X_{i_{calc}} - X_{i_{exp}})^2 / N \right]^{1/2}}{X_{max}} \quad (2)$$

em que X_{max} representa o maior valor experimental obtido.

Do ponto de vista teórico, uma grande variedade de reações complexas podem ser consideradas na pirólise da biomassa. A biomassa é composta essencialmente de hemicelulose, celulose e lignina. A pesquisa realizada por Yang *et al.* (2007) estudou as características da degradação térmica destes três materiais separadamente e constataram que seus processos podem ser divididos em quatro etapas: Vaporização da umidade, decomposição da hemicelulose, decomposição da celulose e por fim decomposição da lignina. Segundo Mohan *et al.* (2006), a quebra da celulose resulta principalmente em açúcares e levoglucosano, a hemicelulose é transformada principalmente em compostos mais voláteis e menos alcatrão do que a celulose e resulta na maiores quantidades de ácidos carboxílicos e gases não condensáveis, enquanto o produto advindo da lignina é formado essencialmente por compostos aromáticos (OASMAA, SOLANTAUSTA *et al.*, 2010).

O modelo frequentemente empregado para tentar explicar a cinética de reação para operações não isotérmicas são descritos pela seguinte equação (VLAEV *et al.*, 2003; SENNECA, 2007; VARHEGYI e ANTAL, 1989):

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(T)f(\alpha) \quad (3)$$

em que $f(\alpha)$ é uma função que depende do mecanismo de reação e está

representada na Tabela 1, $k(T)$ é a constante de reação dependente da temperatura absoluta T , t é o tempo e α representa o grau de transformação do material. O valor de α pode ser obtido por meio da seguinte expressão:

$$\alpha = \frac{m_0 - m_t}{m_0 - m_f} \quad (4)$$

em que m_0 , m_t e m_f são as massas inicial, atual e final da amostra respectivamente.

MECANISMO	$f(\alpha)$
Reação Química	
1ª ordem	$1 - \alpha$
2ª ordem	$(1 - \alpha)^2$
3ª ordem	$(1 - \alpha)^3$
Ordem n	$(1 - \alpha)^n$

Tabela 1: Expressões algébricas de funções para mecanismos de reações de estado sólido.

Usualmente a constante de reação e sua dependência com a temperatura pode ser descrita por meio de equação do tipo Arrhenius, como segue:

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (5)$$

em que A é o fator de frequência, E representa a energia de ativação e R a constante universal dos gases.

Para situações em que a taxa de aquecimento é constante ($dT/dt = q$) e após substituições e transformações, a Equação 3 pode ser transformada na seguinte expressão:

$$\frac{d\alpha}{dT} = q A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) f(\alpha) \quad (6)$$

3 | METODOLOGIA

O bagaço cru foi gentilmente fornecido por uma usina da região com umidade de 24 % e seu preparo se deu mediante secagem em estufa com circulação de ar a 65 °C por 24 h, trituração e peneiramento.

As análises termogravimétricas foram realizadas no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Utilizou-se um Analisador Termogravimétrico com DSC modelo STA 409 PC/PG da empresa NETZSCH contendo cadinho de platina e amostras de bagaço (5 a 10 mg). A amostra

de bagaço foi aquecida a uma taxa de 10 °C/min com a temperatura variando de 25 a 800 °C e com vazão de inerte (N₂) de 40 mL/min.

4 | RESULTADOS

4.1. Caracterização do Bagaço de Cana

A Tabela 2 demonstra os resultados das propriedades físicas e químicas do bagaço. Detalhes da caracterização das propriedades do bagaço podem ser obtidos em Gonçalves *et al.* (2017).

O resultado da ATG do bagaço está demonstrado na Figura 1A. Por meio desta análise é possível notar que há um pico de desidratação em torno da temperatura de 100 °C e a degradação térmica só se completa a temperaturas acima de 400 °C com patamar constante ocorrendo somente a partir de 600 °C.

Propriedade	Valor
ANÁLISE CENTESIMAL	
Teor de Umidade (%) *6	9,02 ± 0,41
Fração Volátil (%) *3	76,88 ± 0,46
Carbono Fixo (%) *d	10,24 ± 1,82
Teor de Cinzas (%) *3	3,86 ± 1,81
COMPOSIÇÃO (Base Seca)	
Hemicelulose (%) *3	28,58 ± 0,65
Celulose (%) *d	39,41 ± 1,05
Lignina (%) *3	16,40 ± 0,63
Extratos (%) *3	11,38 ± 0,50
Cinzas (%) *3	4,23 ± 0,20

*2, *3 e *6 Número de ensaios das determinações. *d Resultado obtido por diferença.

Tabela 2: Propriedades do Bagaço de Cana.

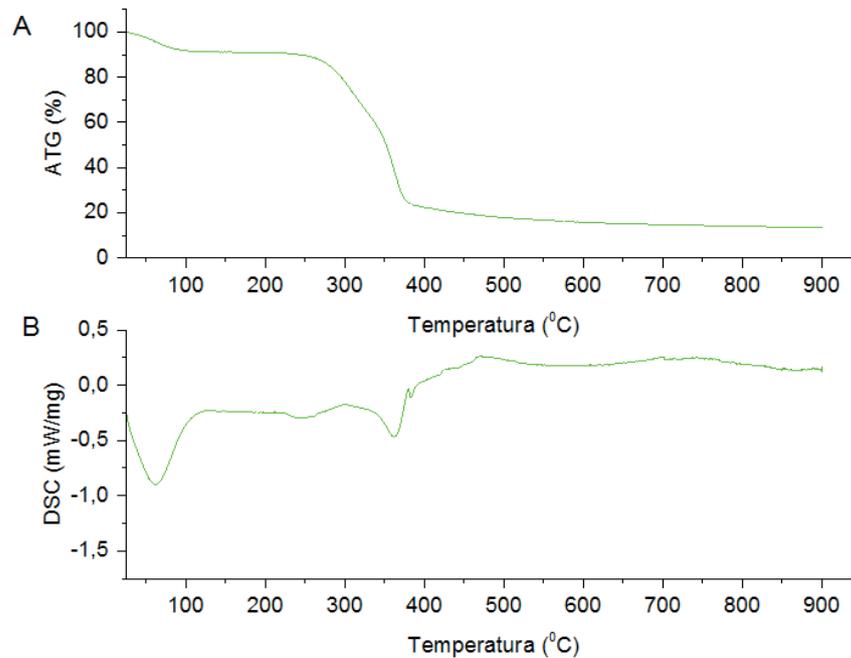


Figura 1: A) ATG do Bagaço. B) DSC do Bagaço.

A curva de DSC (Figura 1B) mostra um comportamento endotérmico para a degradação térmica do bagaço na faixa de temperatura de 25 °C a aproximadamente 425 °C. A partir desta temperatura a degradação do material passa a mostrar estabilidade e comportamento levemente exotérmico. Este perfil ocorre em virtude da composição da biomassa e seu comportamento durante a degradação térmica.

4.2. Modelos Cinéticos

Os parâmetros cinéticos da degradação térmica do bagaço de cana foram obtidos por meio da Equação 6 e das funções representadas na Tabela 1. Os ajustes e simulações foram realizados por meio da rotina *fminsearch* do *software* Matlab e os resultados estão demonstrados na Tabela 3.

MECANISMO	E_a (kJ/mol)	$\log A$ ($\log s^{-1}$)	n	Desvio alfa (%)
Reação Química				
1ª ordem	72,40	11,84	1,00	0,081
2ª ordem	92,83	16,49	2,00	0,056
3ª ordem	126,40	23,82	3,00	0,053
Ordem n	87,83	15,36	1,79	0,057

Tabela 3: Resultados das simulações.

Por meio desta tabela fica evidente que os menores desvios ocorreram para os

modelos de mecanismo governado para reação química de 3ª ordem (0,053%), com E_a de 126 kJ/mol e logA de 23,82. Resultados semelhantes a estes foram reportados por Senneca (2007), com ordem de reação igual a 3, a energia de ativação foi computada como sendo 142 kJ/mol e logA de 25,51 para a degradação de cascas de sementes de pinheiro. Esta pesquisa ainda mostrou um ajuste com ordem 3,6, energia de ativação de 121 kJ/mol e logA de 20,91 para a pirólise de lascas de madeira.

Estes resultados contrastam com Varhegyi e Antal (1989) que afirmam que para decomposições de sólidos orgânicos, a abordagem mais plausível parece ser o pressuposto de um modelo cinético de reação elementar de 1ª ordem, sendo que as reações de 2ª ordem são prejudicadas na fase sólida. Além disso, os autores afirmam que a hipótese de reações de superfície requerem razões físicas ou químicas especiais e por isso a taxa de reação deve ser maior nas superfícies do que nas outras partes da amostra.

As Figuras 4 e 5 demonstram os resultados gráficos da variação de α e de $\ln(1-\alpha)$ com a temperatura, respectivamente, do melhor modelo ajustado (mecanismo de reação química de 3ª ordem).

Por meio das Figuras 2 e 3 é possível perceber que o modelo de reação química de 3ª ordem ajusta muito bem os dados experimentais.

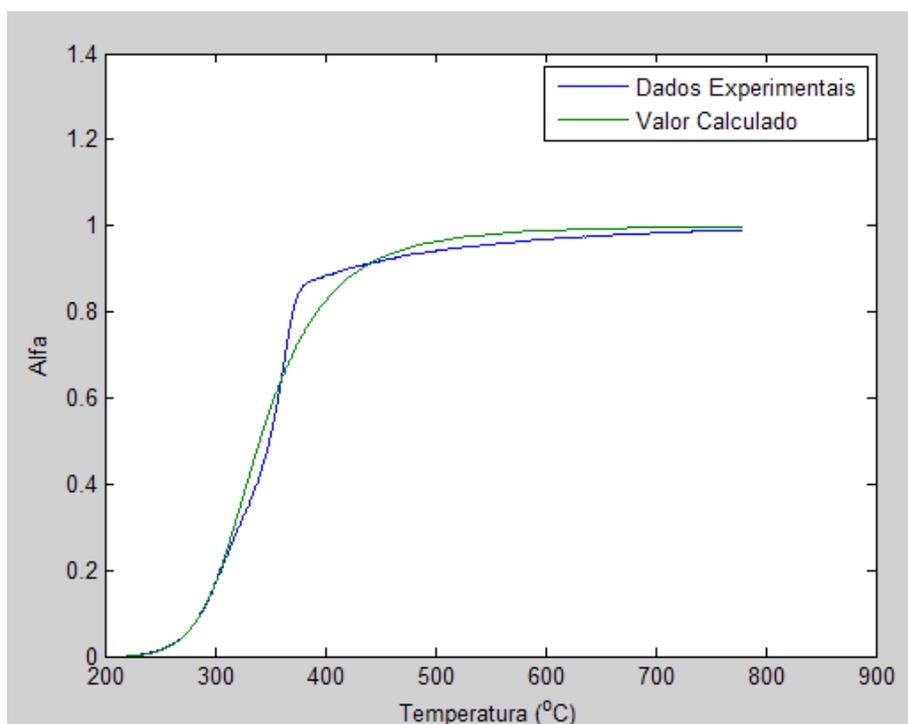


Figura 2: Variação do perfil de alfa segundo o modelo de reação química de 3ª ordem.

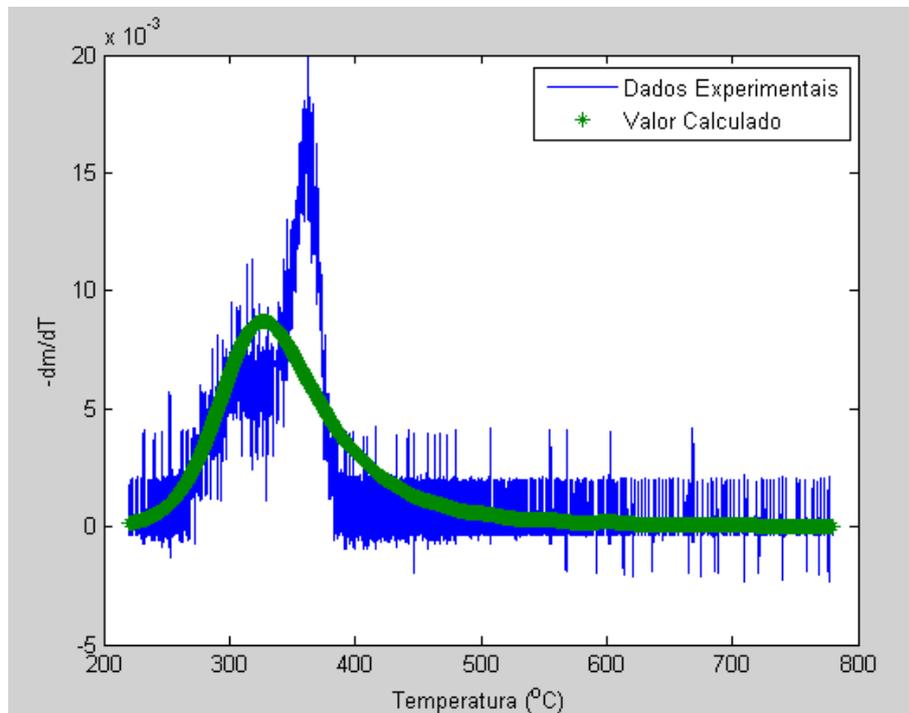


Figura 3: Taxa de variação da massa segundo o modelo de reação química de 3ª ordem.

5 | CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho foi possível conhecer modelos matemáticos que descrevem a cinética de degradação térmica da biomassa. Também foi possível avaliar os parâmetros dos modelos cinéticos da degradação do bagaço de cana por meio da aplicação do método de mínimos quadrados nos dados advindos da análise termogravimétrica do bagaço de cana.

Grande parte dos resultados obtidos matematicamente mostrou ser capaz de representar satisfatoriamente os dados experimentais. O modelo que gerou menores desvios entre os valores calculados e os resultados experimentais é expresso pelo mecanismo reacional de 3ª ordem. Porém as diferenças nos desvios em relação aos outros modelos que consideram reações químicas foram desprezíveis do ponto de vista do ajuste de parâmetros e da simulação.

REFERÊNCIAS

ASADULLAH, M.; RAHMAN, M. A.; ALI, M.M.; RAHMAN, M. S.; MOTIN, M. A.; SULTAN, M. B.; ALAM, M. R. **Production of bio-oil from fixed bed pyrolysis of bagasse**. Fuel, v. 86, p. 2514-2520, 2007.

DIAS, J. M.; FERRAZ, A.; ALMEIDA, M. F.; UTRILLAB, J. R.; POLO, M. S. **Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review**. Journal of Environmental Management, v. 85, p. 833-846, 2007.

GARCÍA-PEREZ, M.; CHAALA, A.; ROY, C. **Vacuum pyrolysis of sugarcane bagasse**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 65, p. 111-136, 2002.

GONÇALVES, E. V.; SEIXAS, F. L.; SANTANA, L. R. S. S.; SCALIANTE, M. H. N. O.; GIMENES, M. L. **Economic trends for temperature of sugarcane bagasse pyrolysis.** Can. J. Chem. Eng., v. 95, p. 1269–1279, 2017.

HAMEED, B. H.; DIN, A. T. M.; AHMAD, A. L. **Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies.** Journal of Hazardous Materials, v. 141, p. 819-825, 2007.

JAYARAMAN, K.; GOKALP, I. (2015). **Pyrolysis, combustion and gasification characteristics of miscanthus and sewage sludge.** Energy Conversion and Management, v. 89, p. 83-91, 2015.

KUPPENS, T.; VAN DAEL, M.; VANREPPELEN, K.; CARLEER, R.; YPERMAN, J.; SCHREURS, S.; VAN PASSEL, S. **Techno-Economic Assessment of Pyrolysis Char Production and Application – A Review.** Chemical Engineering Transactions, v. 37, 2014.

LEHTO, J.; OASMAA, A.; SOLANTAUSTA, Y.; KYTÖ, M.; CHIARAMONTI, D. **Fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils.** VTT TECHNOLOGY 87, 2013.

LI, S.; XU, S.; LIU, S.; YANG, C.; LU, Q. **Fast pyrolysis of biomass in free-fall reactor for hydrogen-rich gas.** Fuel Processing Technology, v. 85, p. 1201-1211, 2004.

MEIER, D.; BELD, B. V.; BRIDGWATER, A. V.; ELLIOT, D. C.; OASMAA, A.; PRETO, F. **State-of-the-art of fast pyrolysis in IEA bioenergy member countries.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 20, p. 619-641, 2013.

MOHAN, D.; PITTMAN Jr., C. U.; STEELE, P. H. **Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review.** Energy & Fuels, v. 20, p. 848-889, 2006.

MULLEN, C. A.; BOATENG, A. A.; GOLDBERG, N. M.; LIMA, I. M.; LAIRD, D. A.; HICKS, K. B. **Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis.** Biomass and Bioenergy, v. 34, p. 67-74, 2010.

OASMAA, A.; KUOPPALA, E.; ARDIYANTI, A.; VENDERBOSCH, R. H.; HEERES, H. J. **Characterization of Hydrotreated Fast Pyrolysis Liquids.** Energy & Fuels. V. 24, p. 5264–5272, 2010.

RADLEIN, D. QUIGNARD, A. **A Short Historical Review of Fast Pyrolysis of Biomass.** Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, v. 68, n. 4, p. 765-783, 2013.

SENNECA, O. **Kinetics of pyrolysis, combustion and gasification of three biomass fuels.** Fuel Processing Technology, v. 88, p. 87–97, 2007.

SOLANTAUSTA, Y.; OASMAA, A.; SIPILÄ, K.; LINDFORS, C.; LEHTO, J.; AUTIO, J.; JOKELA, P.; ALIN, J.; HEISKANEN, J. **Bio-oil Production from Biomass: Steps toward Demonstration.** Energy & Fuels, v. 26, p. 233-240, 2012.

TSAI, W. T.; LEE, M. K.; CHANG, Y. M. **Fast pyrolysis of rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 76, p. 230-237, 2006.

TONISSI, R. H.; GOES, B.; LIMA, H. L. **Técnicas laboratoriais na análise de alimentos.** Dourados, MS: Ed. UFGD, 2010.

UDOP (União dos Produtores de Bioenergia). Boletim de Conjuntura Energética. (2014). Disponível em: <http://www.udop.com.br/download/estatistica/biomassa/2014_balanco_bagaco_cana_uso_energetico.pdf>. Acesso em: 2 jun. de 2015.

VÁRHEGYIA, G.; ANTAL, M. J. **Kinetics of the Thermal Decomposition of Cellulose, Hemicellulose, and Sugar Cane Bagasse.** Energy & Fuels, v. 3, p. 329-335, 1989.

VÁRHEGYIA, G.; ANTAL, M. J.; JAKABA, E.; SZABÓ, P. **Kinetic modeling of biomass pyrolysis.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 42, p. 73-87, 1997.

VLAEV, L. T.; MARKOVSKA, I. G.; LYUBCHEV, L. A. **Non-isothermal kinetics of pyrolysis of rice husk.** Thermochimica Acta, v. 406, p. 1-7, 2003.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis.** Fuel, v. 86, p. 1781-1788, 2007.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-087-2

