cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Avaliação cinética e termodinâmica da pirólise da macrófita *Typha domingensis* via métodos isoconversionais

Naiara Lima Costa[1]; Júnior da Silva Camargo[2]; Willian Pereira Gomes[2]; Gabriela Oliveira Marques de Velasco[1]; Michael Jones da Silva[1]

1.Faculdade de Engenharia e Ciências (FEC) – Rosana/SP; 2. Instituto SENAI de Inovação em Biomassa – Três Lagoas/MS.

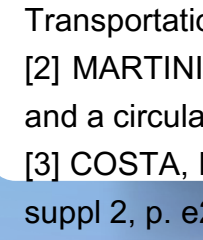
Introdução

A biomassa é uma das principais alternativas aos combustíveis fósseis [1]. Dentre as inúmeras fontes disponíveis, destaca-se as biomassas aquáticas, cujo interesse tem crescido na literatura recente. Apesar disso, a diversificação das matérias-primas demanda, entre outros fatores, planejamento criterioso e o avanço de tecnologias específicas [2]. Nesse contexto, existem lacunas relevantes no conhecimento científico acerca das biomassas aquáticas, especialmente no que concerne à caracterização térmica, cinética e termodinâmica dos processos de pirólise de diferentes espécies [3].

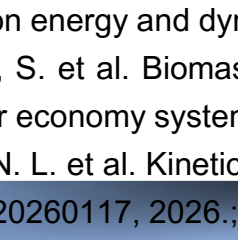
Objetivos

O presente estudo objetiva a caracterização térmica da macrófita *Typha domingensis* (*MTD*), planta amplamente distribuída globalmente, bem como a análise cinética e termodinâmica por meio da termogravimetria (TG/DTG). Objetiva-se compreender seu comportamento de degradação térmica e avaliar seu potencial para aplicações em processos de conversão energética.

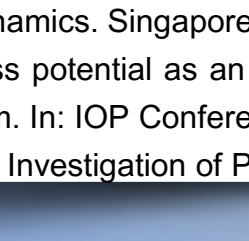
Metodologia



Macrófita



Biomassa seca e processada



Termoanalisador Netzsch TG-STA 449 F3 a 5, 10 e 20 °C min^{-1}

Métodos isoconversionais de análise cinética e análise termodinâmica

Método Ozawa-Flynn-Wall (FWO)	$ln\,\beta = ln\left(\frac{AE_a}{Rg(\alpha)}\right) - 5{,}331 - 1{,}052\frac{E_a}{RT}$
Método Kissinger-Akahira-Sunose (KAS)	$ln\left(\frac{\beta}{T^2}\right) = ln\left(\frac{AE_a}{Rg(\alpha)}\right) - \frac{E_a}{RT}$
Método Starink (STK)	$ln\left(\frac{\beta}{T^{1.92}}\right) = constant - 1.0008\frac{E_a}{RT}$
Fator de frequência (A)	$A = \frac{\left[\beta E_a exp\left(\frac{E_a}{RT_m}\right)\right]}{(RT_m^2)}$
Energia Livre de Gibbs(ΔG)	$\Delta G = E_a + RT_m ln\left(\frac{k_B T_m}{hA}\right)$
Entalpia (ΔH)	$\Delta H = E_a - RT_m$
Entropia (DS)	$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T_m}$

Resultados e Discussão

Observa-se maior energia de ativação (Ea) no intervalo de conversão entre 0,4 e 0,6, entre 290 °C e 345 °C.

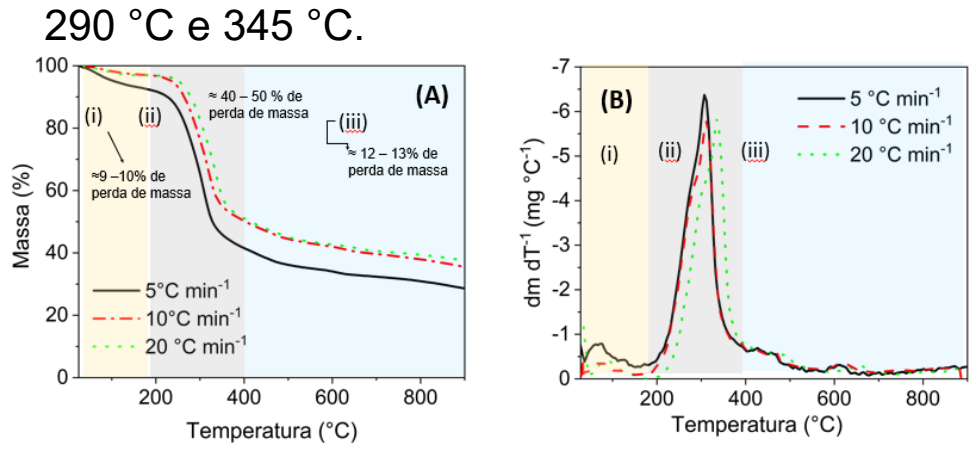


Figura 1. Análise TG e DTG a 5, 10 e 20 °C/min

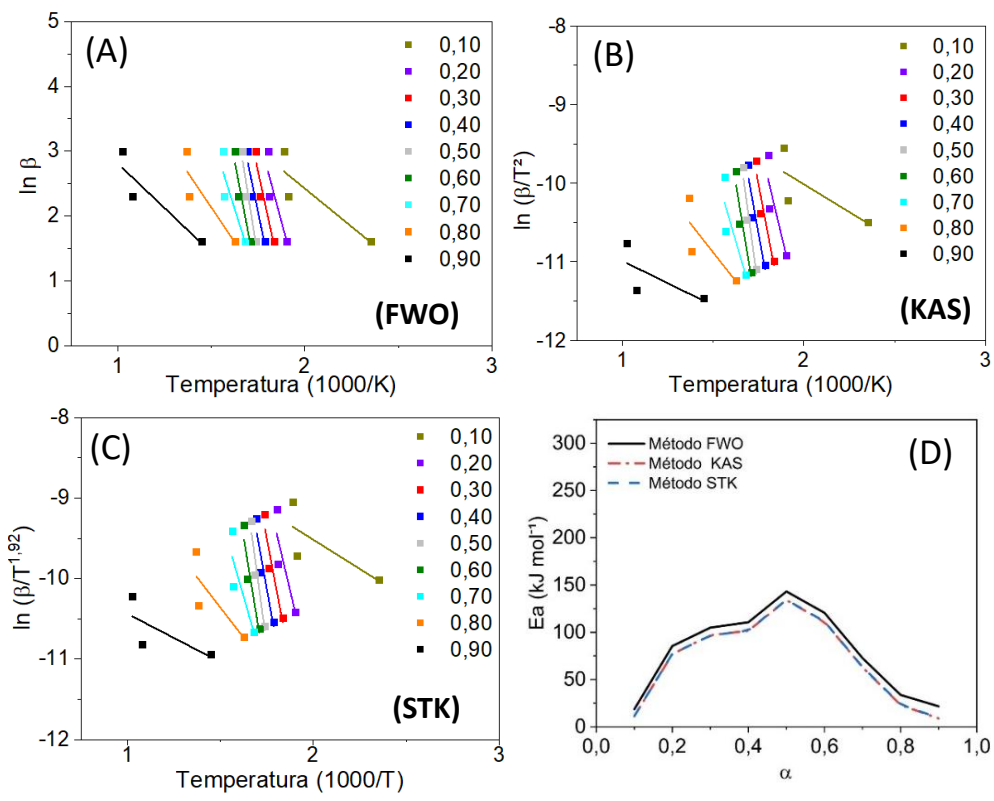


Figura 2. Análise de regressão para os métodos FWO, KAS e STK para MTD.

Tabela 1. Parâmetros termodinâmicos calculados para a MTD a 5°C/min

α	A (1/s)	ΔG (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (kJ/mol·K)
FWO				
10	1,503	163,143	13,749	-255,322
40	$1{,}486\times10^{09}$	154,475	105,791	-83,204
50	$1{,}560\times10^{12}$	153,221	138,359	-25,401
60	$1{,}232\times10^{10}$	154,060	115,660	-65,628
90	3,346	162,387	16,883	-248,671
KAS				
10	$1{,}943\times10^{-1}$	165,633	6,291	-272,323
40	$2{,}115\times10^{08}$	154,891	96,726	-99,407
50	$2{,}169\times10^{11}$	153,546	129,092	-41,793
60	$1{,}623\times10^{09}$	154,458	106,200	-82,475
90	$9{,}950\times10^{-02}$	166,696	4,100	-277,884
STK				
10	$2{,}119\times10^{-1}$	165,506	6,586	-271,602
40	$2{,}287\times10^{08}$	154,874	97,088	-98,758
50	$2{,}347\times10^{11}$	153,533	129,463	-41,137
60	$1{,}760\times10^{09}$	154,441	106,578	-81,800
90	$1{,}168\times10^{-1}$	166,427	4,611	-276,549

Conclusões

A pirólise é governada por um estágio intermediário energeticamente dominante. A predominância de ΔS negativo indica controle estrutural mais rígido, enquanto a variação não monotônica de Ea e A reforça o caráter multi-etapa da decomposição térmica

Referências e Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

[1] ADEOYE, A. O. et al. Sustainable energy via thermochemical and biochemical conversion of biomass wastes for biofuel production. In: Transportation energy and dynamics. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 245-306.

[2] MARTINI, S. et al. Biomass potential as an alternative resource for valuable products in the perspective of environmental sustainability and a circular economy system. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2023. p. 012012.

[3] COSTA, N. L. et al. Kinetic Investigation of Pyrolysis by Thermogravimetry: Macrophyte Eleocharis Elegans. Materials Research, v. 29, n. suppl 2, p. e20260117, 2026.;