

MICRO-PIRÓLISE: UM ESTUDO COMPARATIVO DA CONVERSÃO DE BIOMASSAS LOCAIS EM QUÍMICOS DE ALTO VALOR AGREGADO

Janaina S. Matos¹, Maria Luiza Andrade da Silva³, Flávia S. Cunha⁴, Soraia S. Brandão^{1,3}, Leila C. Aguilera^{1,2}

¹ Escola Politécnica/Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

² Escola de Ciências Exatas e Tecnológicas/Universidade Salvador, Salvador, Brasil

³ Instituto de Química/Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, Brasil.

Resumo/Abstract

RESUMO - Aquecimento global e alterações climáticas são a principal questão do século, requerendo do ser humano habilidade inventiva para a busca e utilização eficiente dos recursos ainda disponíveis. Fontes alternativas de emissão neutra contribuem para diversificação da matriz energética mundial, atuando diretamente na redução da dependência por petróleo. Assim, a conversão de biomassas lignocelulósicas em bio-óleo por pirólise abre a possibilidade da produção e recuperação de químicos altamente valiosos a partir do bio-óleo. Assim, a composição do bio-óleo produzido a partir de três diferentes biomassas, a saber palha-de-cana (PC), palha de bananeira (PB) e resíduo cervejeiro (MT) foi analisada através da técnica de micro-pirólise. Os resultados mostraram uma ampla gama de compostos orgânicos, tais como aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos. A maior produção de açúcares anidro foi observada para MT, favorecendo a liberação de levoglucosan, um importante açúcar plataforma. Também foi observada produção expressiva de compostos fenólicos por PB. Muitas das moléculas são atrativas comercialmente dada a infinidade de aplicações que possuem, abrangendo as áreas farmacêutica, médica, além das indústrias alimentícia e química

Palavras-chave: biomassa, biorrefinaria, micro-pirólise.

ABSTRACT - Global warming and climate change are the main issues of the century, requiring human beings to be inventive in searching for and efficiently using the resources still available. Alternative sources of neutral emissions for the diversification of the world energy matrix, acting directly in the reduction of dependence on oil. Thus, the conversion of lignocellulosic biomass into bio-oil by pyrolysis opens the possibility of producing and recovering highly valuable chemical products from bio-oil. Thus, the composition of bio-oil produced from three different biomasses, namely sugarcane straw (PC), banana straw (PB), and brewery waste (MT), was proven through the micro-pyrolysis technique. The results showed a wide range of organic compounds, such as aldehydes, ketones, and carboxylic acids. The highest production of anhydrous sugars was observed for MT, favoring the release of levoglucosan, an important sugar platform. PB also observed the expressive production of phenolic compounds. Many of the molecules are commercially attractive, given the variety of applications they have, covering the pharmaceutical, medical, food, and chemical industries.

Keywords: biomass, biorefinery, micro-pyrolysis.

Introdução

O desenvolvimento humano baseado na exploração predatória de fontes fósseis colocou a saúde do meio ambiente em segundo plano, trazendo danos irreparáveis à posterioridade. Na tentativa de minimizar os efeitos resultantes de anos de degradação, a busca por fontes alternativas tornou-se uma das principais questões a serem discutidas entre a comunidade científica nos últimos 50 anos. Frente a isto, os biocombustíveis derivados de fontes renováveis surgem como uma alternativa limpa, auxiliando na redução das emissões. A biomassa lignocelulósica é recurso renovável, disponível em grandes quantidades, de baixo custo e de aplicação ampla, podendo ser utilizada como rota para diversos bioprodutos (1) Dentre os processos abrangidos pela biorrefinaria, a pirólise rápida possibilita a obtenção de um biocombustível líquido armazenável e refinável em rendimentos acima de 70%, o bio-óleo.

O bio-óleo consiste num líquido escuro, viscoso, produzido através da conversão de biomassas lignocelulósicas em ambiente isento em oxidantes, na faixa compreendida entre 400 e 600°C. Os primeiros estudos contemplando a produção de um líquido escuro advindo queima de biomassa lenhosa data entre 1980 e 1990. Inicialmente, as investigações em torno deste bioproduto concentravam-se no seu potencial em substituir o petróleo na geração de calor e energia, sendo por este motivo utilizado diretamente em motores movidos a combustão (2). Desde a primeira menção até a contemporaneidade, o bio-óleo passou a abranger outras esferas. Na indústria, já foi utilizado em caldeiras e turbinas voltadas para o suprimento de calor e energia elétrica. No setor de transportes, já foi considerado como um combustível promissor para veículos aéreos e marinhos. Bio-óleos também já integraram a composição de filmes com proteção UV, atribuindo-lhes

biodegradabilidade apreciável, auxiliando desta maneira na redução do acúmulo de plásticos.

No bio-óleo estão presentes mais de 300 compostos orgânicos, incluindo fenóis, cetonas, aldeídos, açúcares anidros e ácidos carboxílicos(3). Tais compostos fornecem ao bio-óleo propriedades que limitam sua aplicação como combustível como elevada acidez, acarretando-lhe corrosividade acentuada, instabilidade química, baixo poder calorífico e elevado teor de umidade(4). Como forma de aproveitar a complexidade de sua composição, e contribuir para a valorização e extensão da aplicação deste bioproduto, a destilação e a extração estão entre as técnicas mais utilizadas para recuperação dessas moléculas.

Em 2004, o Departamento Americano de Energia (USDOE) identificou 12 principais químicos de plataforma que podem ser obtidos tomando como partida biomassas residuais. Muitas delas, se encontram dispersas no seio do bio-óleo em concentrações acima de 5%, justificando o interesse na separação e comercialização em larga escala desses produtos (5). Assim, a fim de fornecer um novo olhar sobre biomassas locais, encontradas em grandes montantes na região Nordeste do Brasil, a saber palha-de-cana (PC), palha de bananeira (PB) e resíduo cervejeiro (MT), o presente trabalho tem como objetivo avaliar com auxílio da pirólise analítica, a composição dos bio-óleos obtidos.

Experimental

Composição química

Palha de cana (PC) e bananeira (PB) e resíduo cervejeiro (MT) foram submetidas a caracterização química para quantificação dos teores de lignina, celulose e hemicelulose seguindo a metodologia proposta por Moore (6) e Rocha *et al.* (7). O teor de extrativos foi determinado de acordo com adaptações na ASTM D1105-2. Etanol e água foram utilizados como solventes no procedimento de extração descrito pelo método. O teor de cinzas totais foi determinado conforme descrito pela ASTM E1755-01.

Micro-pirólise

A micro-pirólise das amostras de biomassa foi realizada em um micropirolisador Frontier modelo EGA/PY-3030D acoplado a um GC/MS Shimadzu modelo QP-2020NX. Para a análise foram utilizados 0,5 mg de cada biomassa que foram submetidas a uma temperatura de 550 °C no micropirolisador. Os voláteis produzidos através da pirólise foram direcionados para cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas cuja temperatura do injetor foi mantida a 250 °C. Foi utilizado hélio como gás de arraste com fluxo de 1 mL/min através de uma coluna capilar Rtx-1701 GC 195 (60 m x 0,25 mm x 0,25 µm). O forno do cromatógrafo inicialmente foi mantido por 4 minutos a 45 °C e subsequentemente foi aquecido até 235°C a uma taxa de 3°C/min, mantendo-se a essa temperatura por

7 minutos. Os picos do cromatograma foram obtidos com 80% de similaridade utilizando a base de dados National Institute of Standards and Technology (NIST 14). O cálculo das áreas relativas foi realizado em base livre de CO₂, uma vez que este não faz parte da composição do bio-óleo.

Resultados e Discussão

Caracterização química

A Tabela 1 apresenta os teores de hemicelulose, celulose, lignina, cinzas e extrativos presentes nas três biomassas estudadas determinados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, que estão de acordo com valores já reportados em literatura por Richard *et al.* (8), exceto para o teor de extrativos presentes na biomassa PB. O teor relativo de celulose foi maior na biomassa PC, seguida por PB e MT. A pirólise da celulose libera açúcares-anidros, furanos, furanonas, benzenos (fenóis e catecóis), ciclopentanonas e moléculas leves (acetaldeído, metilglioxal e hidroxí acetaldeído) por intermédio da clivagem das ligações glicosídicas e de reações de desidratação (9). Durante a pirólise, a lignina contribui positivamente para a liberação de fenóis, sugerindo que biomassas ricas nesse constituinte sejam as mais adequadas a esse propósito (10).

Tabela 1. Composição química dos principais constituintes das biomassas in natura determinada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência.

Biomassa	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)	Extrativos (%)	Umidade (%)
PC	28,98	17,59	18,47	5,30	16,12	13,54
MT	15,60	14,66	27,19	1,06	24,50	16,99
PB	22,70	19,10	17,20	1,34	38,43	1,23

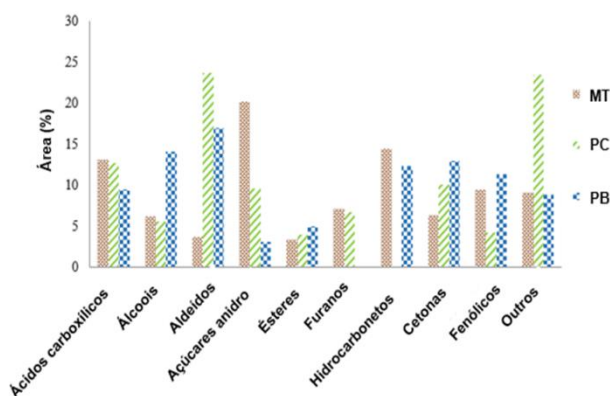
De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a biomassa PB apresentou o maior teor de hemicelulose, seguida pela PC e MT, respectivamente. Por outro lado, o teor relativo de cinzas foi maior na biomassa PC. As cinzas em biomassas são compostas por metais alcalinos e alcalinos terrosos (AAEM), os quais exibem alta reatividade, fato que pode ser justificado pelo caráter ácido de Lewis desses constituintes, catalisando reações de desidratação dos açúcares durante a pirólise (11). Comparando a acidez relativa dessas espécies, os metais alcalinos terrosos (Ca²⁺, Mg²⁺) são mais ácidos do que os

íons dos seus vizinhos do Grupo 1 (Na^+ , K^+), conduzindo seletivamente à despolimerização da celulose e promovendo a conversão dos açúcares anidros em furfural (12). Os extrativos estão presentes na biomassa lignocelulósica em pequenas quantidades, variando entre 5 e 30 % em massa seca de biomassa, nos quais estão presentes saponinas, fenólicos, amido, ceras, pigmentos, açúcares simples e proteínas (13). Entre as amostras analisadas, o maior teor relativo de extrativos foi observado na amostra PB, um valor considerado elevado em comparação com as demais amostras e com os valores encontrados na literatura para o pseudocaule (14) e rãquis (15).

Micro-pirólise

A Figura 1 mostra a distribuição de grupos funcionais dos compostos presentes nos bio-óleos oriundos da pirólise analítica das diferentes biomassas estudadas neste trabalho. Os componentes dos bio-óleos estão distribuídos entre ácidos, álcoois, aldeídos, açúcares anidros, ésteres, furanos, hidrocarbonetos, cetonas, compostos fenólicos e outros, incluindo N-componentes e P-componentes. As principais diferenças observadas foram relacionadas à presença de aldeídos, álcoois, cetonas, ácidos carboxílicos, açúcares anidros, furanos, hidrocarbonetos e compostos fenólicos nos bio-óleos provenientes das três biomassas.

Figura 1 Distribuição dos diferentes compostos presentes nos bio-óleos.



A produção de açúcares anidro como 1,6-Anidro-beta-D-glucopiranosose ou levoglucosana, destaca-se nas biomassas MT (~ 20%) e PC (~ 10%). Esses açúcares são produtos da degradação térmica da celulose, resultante da fragmentação das ligações H-C-O-H, abundantes na estrutura da celulose nativa (16). A quebra das ligações glicosídicas (1 → 4) seguida por desidratação, resulta em um elevado rendimento da levoglucosana (LG) (17). Considerada uma molécula versátil, a LG é amplamente utilizada na produção de fármacos, surfactantes, agroquímicos, polímeros e combustíveis, além de ser um excelente precursor para a produção de álcoois e ácidos por fermentação (18). O método convencional de síntese do LG utiliza a D-glicose

como composto de partida. Devido à sua regioselectividade, a hidroxila ligada ao carbono 6 é preferencialmente atacada, originando um novo composto aromático. No entanto, essa rota é dispendiosa e complexa, devido às numerosas etapas de proteção e desproteção dos grupos funcionais e à ativação dos centros anoméricos do açúcar (19). A complexidade da síntese reflete-se no elevado preço de mercado do produto, que varia entre USD 10000-50000 por tonelada métrica (20). Nos últimos anos, a levoglucosana tem recebido atenção especial por ser o principal produto da degradação da celulose, o polímero mais abundante na biomassa. Seu mecanismo de degradação está bem elucidado, e ele é identificado no bio-óleo em concentrações superiores a 50%, oferecendo um caminho alternativo para a produção de açúcares monoméricos, como a glicose, um precursor para combustíveis derivados de biomassa (21).

No entanto, a produção de açúcares por via pirolítica enfrenta desafios devido à natureza inibitória da hemicelulose, o que explica o baixo rendimento observado na biomassa PB (3%), que apresentou o maior teor de hemicelulose entre as amostras estudadas (Tabela 1). O estudo desse carboidrato geralmente toma como referência a estrutura do xilano, composto principalmente por pentoses que não podem ser convertidas em anidridos via desidratação intermolecular, devido à ausência do grupo hidroxila (11). A pureza e o rendimento da levoglucosana produzida a partir da pirólise também são limitados pela ação catalítica dos metais alcalinos e alcalinos terrosos presentes na composição da biomassa in natura (22). Para potencializar a produção deste açúcar, a abordagem mais eficaz é a diminuição do teor desses metais através do pré-tratamento usando soluções diluídas de ácido clorídrico ou sulfúrico (23). Conforme mostrado na Figura 1, a Amostra MT foi a biomassa mais promissora na produção de açúcares anidros, sendo por esta razão escolhida entre as demais para o estudo do efeito do tratamento ácido, com objetivo de maximizar o rendimento do produto de interesse.

As biomassas PC e PB favoreceram a produção de aldeídos (Figura 1), com áreas relativas de 24% e 17%, respectivamente. Em contrapartida, destaca-se a baixa produção de aldeídos no bio-óleo da amostra MT, cerca de 4%. A maior produção de álcoois foi observada para a amostra PB (14%), seguida por MT (6%) e PC (5%). Foram identificados compostos alcoólicos alifáticos, como 1-propanol, 1,3-propanodiol e metanol, bem como compostos cíclicos, como 6-oxa-biciclo [3.1.0] hexan-3-ol e ciclopentanol. A amostra PB também produziu o maior teor de cetonas (14%), em comparação com PC (10%) e MT (6%). Álcoois, aldeídos e cetonas são formados via reações de descarboxilação, desidratação, abertura de anel e clivagem de ligações C-C presentes na estrutura da celulose e da hemicelulose (24). A relação entre composição e rendimento de compostos oxigenados está associada ao teor relativo de hemicelulose, sendo evidente na amostra PB, que ocupa a segunda posição em quantidade relativa de celulose,

mas a primeira em hemicelulose relativa, conforme mostrado na Figura 1, na qual a amostra PB se destaca na produção de compostos oxigenados.

A presença de espécies oxigenadas, como ácidos carboxílicos, cetonas e aldeídos no bio-óleo é frequentemente vista de forma negativa, devido a uma série de desvantagens. Por exemplo, os ácidos orgânicos como o fórmico e o acético reduzem o pH do bio-óleo, dificultando seu armazenamento e transporte, enquanto fenóis e aldeídos impactam negativamente a viscosidade e, consequentemente, a fluidez do líquido (25). No entanto, alguns compostos desses grupos são de interesse comercial, encontrando aplicações nas indústrias alimentícia e farmacêutica. Um exemplo é a 2,3-butanodiona, uma cetona detectada nas amostras de bio-óleo com uma área relativa aproximadamente 2%. Essa substância é considerada atóxica pela *US Food and Drug Administration* e é utilizada como aditivo alimentar em derivados do leite para conferir sabor amanteigado (26). Na indústria farmacêutica, destaca-se a 2-ciclopenten-1-ona, 2-hidroxi-3-metil, que, embora identificada com uma pequena área relativa na amostra de bio-óleo de PB (1,57%), possui alto valor agregado devido a sua excelente atividade anti-inflamatória (27). A acroleína (2-propenal), área relativa 1,34%, pertencente à classe dos aldeídos, destaca-se como intermediário na fabricação de produtos químicos, consolidando-se mercado global com um valor de 1,52 bilhão de dólares, com projeções para atingir 1,75 bilhão de dólares até 2026 (28).

O metilglioxal atua como precursor na geração de diversos saborizantes. Ao reagir com aminoácidos como valina, leucina, isoleucina, metionina e fenilalanina, forma compostos como isobutanal, isovaleraldeído, 2-metilbutanal, metional e fenilacetaldéido, respectivamente, originando novos sabores, incluindo carne assada, nozes torradas, malte, repolho, cereais e cereja (29). Apesar do valor agregado desses compostos, a maioria dos estudos sobre compostos oxigenados presentes no bio-óleo de pirólise é focada na sua conversão, e não na sua recuperação. O caminho mais promissor para a conversão de aldeídos e congêneres em hidrocarbonetos é a hidredesoxigenação (HDO) (30). Esse processo ocorre em temperaturas elevadas, geralmente entre 300-600 °C sob atmosfera de hidrogênio (>30 bar), através de reações de desidratação, descarboxilação, descarbonilação, alquilação, oligomerização e transferência de hidrogênio (31). Diversos catalisadores têm sido investigados para essa finalidade, incluindo óxidos metálicos, zeólitas, catalisadores bifuncionais e argilas (32). Entre estes, as zeólitas ácidas, em particular a HZSM-5, são as mais utilizadas devido à sua seletividade de forma para as moléculas alvo, proporcionando alto rendimento de hidrocarbonetos (33). A seletividade resulta do efeito de transferência de massa, que exclui moléculas reagentes maiores do que a distribuição de tamanho dos poros, que pode variar entre 0,5 e 1,2 nm (34).

As biomassas MT e PB resultaram na produção de bio-óleo rico em hidrocarbonetos (Figura 1), com 14% e 12%

em área, respectivamente. Os constituintes da biomassa são convertidos em hidrocarbonetos através de reações de desidratação, ciclização, alquilação, isomerização, desidratação, descarbonilação, descarboxilação, oligomerização e desproporção (31). Metais alcalinos (AAEMs) presentes nas cinzas favorecem as reações de craqueamento e desidratação, produzindo voláteis e reduzindo o rendimento de hidrocarbonetos no bio-óleo. Conforme apresentado na Tabela 1, a biomassa PC apresentou o maior teor de cinzas e, consequentemente, maior conteúdo de AAEMs, o que justifica a ausência de hidrocarbonetos no bio-óleo derivado dessa biomassa. Zhang *et al.* (16) observaram tendência semelhante ao investigar o impacto dos metais alcalinos na pirólise de cascas de arroz, concluindo que AAEMs não promovem a formação de hidrocarbonetos, mas sim de compostos oxigenados (aldeídos, éteres e cetonas). O principal interesse em bio-óleos ricos em hidrocarbonetos está relacionado ao seu potencial como combustível. Combustíveis derivados do refino do petróleo contêm hidrocarbonetos com diferentes números de carbonos, conferindo-lhes variados usos. Por exemplo, frações mais leves são destinadas à geração de calor e energia para transportes de médio porte; o diesel fornece energia para veículos de grande porte; e o querosene é amplamente utilizado no setor aeroespacial (35).

A maior produção de ácidos carboxílicos foi observada para a biomassa MT (14%), seguida por PC (13%) e PB (9%) (Figura 1). Esses ácidos são liberados durante a decomposição da hemicelulose (36), geralmente em temperaturas entre 300 e 400 °C por meio de reações de clivagem da cadeia lateral de acetil (37), craqueamento, condensação retro-aldólica e desidratação (16). No entanto, estudos recentes indicam que ácidos de menor massa molar como o acético, podem ser formados pela decomposição da lignina em temperaturas elevadas (38). De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, a biomassa MT possui o maior teor relativo de lignina e menor teor de hemicelulose, enquanto a PB apresenta o maior teor relativo de hemicelulose. Dada a tendência da hemicelulose em liberar ácidos, esperava-se que a PB fornecesse maior rendimento de ácidos carboxílicos, o que não foi observado. O ponto chave na discussão está no teor de cinzas, ricas em metais alcalinos e alcalinos terrosos, presentes na composição da PB em cerca de 1,34 % (Tabela 1). Segundo Alcazar-Ruiz *et al.* (39), esses metais convertem rapidamente os ácidos carboxílicos em ésteres, diminuindo assim seu teor nas amostras de bio-óleo. Os ácidos acéticos e o hexadecanóico também foram identificados com áreas relativas individuais variando entre 2,41 a 3,54 %. Entre os ácidos carboxílicos obtidos por pirólise, o ácido acético é o de maior importância. Além de atuar como reagente e solvente, possui aplicação comercial na produção de tereftalato de polietileno, acetato de celulose, acetato de vinila, utilizados em diversas áreas, como a automobilística, alimentícia, plásticos embalagens e tintas (40). Poucos estudos se

dedicaram à produção e recuperação de ácido acético por pirólise. O mais antigo deles focou na recuperação do ácido contido no bio-óleo de pirólise rápida, obtendo 90% de ácido acético em peso (41).

A produção de compostos fenólicos pelas biomassas PB e MT foi de 14% e 11%, respectivamente, enquanto para PC foi inferior a 5% (Figura 1). Esse resultado pode ser explicado com base na composição das matérias-primas. Entre as biomassas consideradas, PC possui o maior teor relativo de cinzas, que contêm metais alcalinos e alcalinos terrosos, os quais reduzem a formação de compostos fenólicos (42). As diferenças observadas entre PB e MT na produção de compostos fenólicos são atribuídas, em grande parte, ao teor de lignina, que é de 17% e 27%, respectivamente, para essas biomassas. Na estrutura da lignina são identificados grupos funcionais como $-OCH_3$ e $-OH$ ligados a anéis aromáticos ou a cadeias laterais de suas unidades básicas (43). A pirólise da lignina é dividida em três estágios: inicial, primário e carbonização. O estágio primário, que ocorre entre 400 e 600 °C, é o mais significativo, culminando na geração de hidrocarbonetos aromáticos e compostos fenólicos, formados pela interação dos radicais H com aqueles provenientes da cisão das ligações $C\beta-O$ e $Ca-O$ da lignina (44). Essa reação pode iniciar-se via quebra homolítica da ligação glicosídica da lignina ($\beta-O-4$ ou $\alpha-O-4$) ou por transferência intra ou intermolecular. No entanto, reações homolíticas, como eliminação concertada e reações do tipo Ene, produzem dímeros que, com o aumento da temperatura, se fragmentam em pequenos monômeros, sendo os alcóxi-fenóis os representantes mais comuns desse grupo (43).

Nos bio-óleos analisados, foram identificados diversos compostos fenólicos, como cresóis, 2,6-dimetoxi-4-(2-propenil), 2-metoxi-1,3,4-trimetil-e fenóis, 4-etil. O interesse na produção e recuperação de compostos fenólicos reside em suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, além de sua aplicação como aditivos e matérias-primas na produção de resinas, corantes, plásticos e pesticidas (45). Na saúde humana, estes compostos exibem vários benefícios, uma vez que, ao impedir o processo oxidativo, inibem a formação de radicais livres responsáveis por doenças graves, como câncer, doenças vasculares e até distúrbios neurológicos (46). Analogamente aos hidrocarbonetos, elevados rendimentos de fenólicos são alcançados seletivamente por meio da pirólise catalítica. Ma *et al.* (47) examinaram a desoxigenação seletiva com catalisadores suportados em sílica (Ni/SiO₂, Ca/SiO₂, Ni-Ca/SiO₂), observando um aumento na produção de compostos fenólicos quando Ni/SiO₂ e Ni-Ca/SiO₂ foram introduzidos no meio reacional. Utilizando catalisador metálico suportado em zeólita (Ni/HZSM-5), Ouedraogo *et al.* (48) verificaram um aumento de 47,8% na seletividade para compostos fenólicos (CF) em relação à reação não catalisada.

Foi observado que o bio-óleo derivado da biomassa PB não produziu furanos, enquanto aproximadamente 7% de

furanos foram produzidos tanto no bio-óleo de MT quanto no de PC (Figura 1). A possível razão para a ausência de furanos na composição do bio-óleo de PB reside na interação entre celulose e hemicelulose, que impede que reações de desidratação e abertura do anel de monômeros C6 ocorram, dificultando a formação dessas moléculas (38).

Conclusões

Os resultados de micro-pirólise das biomassas consideradas neste estudo mostraram uma forte dependência entre a composição da biomassa e a qualidade do bio-óleo produzido. Uma ampla gama de moléculas de alto valor agregado foram identificadas com área relativa acima de 15%, evidenciando o enorme potencial de geração de valor econômico dos resíduos de biomassa, que por muitas vezes permanecem pouco explorados. O estudo atuou de forma a complementar as informações já existentes no âmbito de pirólise de biomassas lignocelulósicas, como também foi capaz de mostrar as possíveis moléculas que podem ser produzidas e recuperadas por uma rota considerada de baixa emissão. Foram identificados compostos orgânicos diversos, incluindo hidrocarbonetos, compostos fenólicos, cetonas, aldeídos, açúcares anidros e ácidos carboxílicos. Tais compostos encontram aplicação diversa nas indústrias química e farmacêutica, alguns deles como os fenóis, são capazes de ser metabolizados *in vivo*, exibindo propriedades anti-inflamatórias e antibióticas, contribuindo dessa maneira para o avanço da área médica em tratamentos contra doenças diversas. Outros são demandados pela indústria alimentícia, servindo como flavorizantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro fornecido ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Referências

1. Castilla-Caballero, D.; Barraza-Burgos, J.; Gunasekaran, S.; Roa-Espinosa, A.; Colina-Márquez, J.; Machuca-Martínez, F.; Hernández-Ramírez, A.; Vázquez-Rodríguez, S. *Data Brief* **2020**, *28*, 104855.
2. Oasmaa, A.; Lehto, J.; Solantausta, Y.; Kallio, S. *Energy & Fuels* **2021**, *35* (7), 5683–5695.
3. Lazzari, E.; Schena, T.; Marcelo, M. C. A.; Primaz, C. T.; Silva, A. N.; Ferrão, M. F.; Bjerk, T.; Caramão, E. B. *Ind Crops Prod* **2018**, *111*, 856–864.
4. Leng, L.; Li, H.; Yuan, X.; Zhou, W.; Huang, H. Bio-Oil Upgrading by Emulsification/Microemulsification: A Review. *Energy* **2018**, *161*, 214–232.

5. Sarchami, T.; Batta, N.; Berruti, F. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* **2021**, *15* (6), 1912–1937.
6. *Procedures for the Chemical Analysis of Wood and Wood Products (as Used at the U.S. Forest Products Laboratory)*; Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 1967.
7. Gouveia, E. R.; Nascimento, R. T. do; Souto-Maior, A. M.; Rocha, G. J. de M. *Quim Nova* **2009**, *32* (6), 1500–1503.
8. Richard, E. N.; Hilonga, A.; Machunda, R. L.; Njau, K. N. *3 Biotech* **2020**, *10* (12), 542.
9. Ansari, K. B.; Arora, J. S.; Chew, J. W.; Dauenhauer, P. J.; Mushrif, S. *Ind Eng Chem Res* **2019**, *58* (35), 15838–15852.
10. Hu, R.; Zhao, Y.; Tang, C.; Shi, Y.; Luo, G.; Fan, J.; Clark, J. H.; Zhang, S. *Engineering* **2023**, *27*, 178–198.
11. Chen, Z.; Wang, Y.; Cheng, H.; Zhou, H. *Ind Crops Prod* **2022**, *187*, 115335.
12. Li, S.; Wang, C.; Luo, Z.; Zhu, X. *Energy & Fuels* **2020**, *34* (10), 12654–12664.
13. Giudicianni, P.; Gargiulo, V.; Grottola, M.; Alfè, M.; Ferreiro, A. I.; Mendes, M. A. A.; Fagnano, M.; Ragucci, R. *Energy and Fuels* **2021**, *35* (7), 5407–5478.
14. Abdullah, N.; Mohd Taib, R.; Mohamad Aziz, N. S.; Omar, M. R.; Md Disa, N. *Heliyon* **2023**, *9* (1).
15. Florian, T. D. M.; Villani, N.; Aguedo, M. *Ind Crops Prod* **2019**, *132*, 269–274.
16. Zhang, C.; Chao, L. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2021**, *135*, 110416.
17. Tomishige, K.; Yabushita, M. *Green Chemistry* **2022**, *24* (15), 5652–5690.
18. Huang, X.; Ren, J. *Fuel Processing Technology* **2022**, *229*, 107175.
19. Huonnic, K.; Linclau, B. *Chem Rev* **2022**, *122* (20), 15503–15602.
20. Rover, M. R.; Aui, A. *Green Chemistry* **2019**, *21* (21), 5980–5989.
21. Hakeem, I. G.; Halder, P. *J Environ Chem Eng* **2021**, *9* (4), 105614.
22. Wang, K.; Pan, J. *J Anal Appl Pyrolysis* **2024**, *177*, 106300.
23. Hamid, A.; Alam, A. *Sustain Chem Pharm* **2024**, *42*, 101758.
24. Babatabar, M. A.; Yousefian, F. *Int J Energy Res* **2022**, *46* (7), 9836–9850.
25. Gollakota, A. R. K.; Shu, C. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2023**, *187*, 113700.
26. Li, G.; Chen, Y. *Postharvest Biol Technol* **2022**, *193*, 112057.
27. Rao, J.; Lv, Z. *Prog Polym Sci* **2023**, *140*, 101675.
28. Guedes, P.; Luz, R. *Biomass Bioenergy* **2023**, *168*, 106659.
29. Zheng, J.; Guo, H. *Trends Food Sci Technol* **2021**, *107*, 201–212.
30. Lahijani, P.; Mohammadi, M. *Energy Convers Manag* **2022**, *268*, 115956.
31. Shahbeik, H.; Shafizadeh, A. *J Clean Prod* **2023**, *413*, 137473.
32. López-Renau, L. M.; García-Pina, L. *Biomass Convers Biorefin* **2021**, *11* (6), 2311–2323.
33. Dada, T. K.; Sheehan, M. *Biomass Convers Biorefin* **2023**, *13* (4), 2595–2614.
34. Chaihad, N.; Karnjanakom, S. *Resources Chemicals and Materials* **2022**, *1* (2), 167–183.
35. Liu, Y.; Wang, W. *J Anal Appl Pyrolysis* **2022**, *166*, 105588.
36. Wei, D.; Chen, C. *Journal of the Energy Institute* **2023**, *107*, 101182.
37. Bi, D.; He, Z.; Huang, F. *Chemical Engineering Journal* **2024**, *496*, 153798.
38. Xue, X.; Mi, J. *J Anal Appl Pyrolysis* **2023**, *170*, 105909.
39. Alcazar-Ruiz, A.; Garcia-Carpintero, R. *Food and Bioproducts Processing* **2021**, *125*, 37–45.
40. Karunanithi, S.; Kapoor, A. *Separation Science and Technology (Philadelphia)* **2023**, *58* (11), 1985–2007.
41. Mahfud, F. H.; Van Geel, F. *Sep Sci Technol* **2008**, *43* (11–12), 3056–3074.
42. Alcazar-Ruiz, A.; Villardon, A. *Waste Management* **2023**, *169*, 112–124.
43. Hu, B.; Zhang, Z. *Fuel Processing Technology* **2022**, *237*, 107465.
44. Hu, B.; Yang, X. *Energy & Fuels* **2025**, *39* (4), 2048–2058.
45. Sangthong, S.; Phetwarotai, W.; Bakar, M. *Ind Crops Prod* **2022**, *188*, 115648.
46. Albuquerque, B.; Heleno, S. *Food Funct* **2021**, *12* (1), 14–29.
47. Ma, S.; Li, H.; Zhang, G. *Front Environ Sci Eng* **2021**, *15* (2), 1–11.
48. Ouedraogo, A.; Bhoi, P.; Gerdmann, C.; Patil, V.; Adhikari, S. *Journal of the Energy Institute* **2021**, *99*, 9–20.