

Utilização de Diversos Tipos de Biomassa em Piro-lisador Multicombustível

Silva, T. L. C.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
thomazlucasc@gmail.com

Loureiro, E. C. M.

Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
Autor2@meu-email

Resumo

A utilização da conversão de biomassa é uma solução interessante tanto para a geração energética quanto para a eliminação dos resíduos, de forma menos agressiva ao ambiente. A pirólise é uma reação de decomposição que ocorre pela ação de altas temperaturas. Ocorre a ruptura da estrutura molecular original de um composto pela ação do calor em um ambiente com pouco ou nenhum oxigênio. O processo é autossustentável, pois a decomposição química pelo calor na ausência de oxigênio, produz mais energia do que consome. O processo de pirólise produz biocombustíveis líquidos e gasosos, como bio-óleo e gás de síntese. O principal objetivo na atualidade é o desenvolvimento em escala industrial de plantas para a produção de bio-óleo visando sua aplicação como combustível. Nesta pesquisa pretende-se desenvolver um piro-lisador multicombustível capaz de operar com diversos tipos de combustíveis como alternativa tecnológica ao uso de gás natural em UTE (Usinas Termelétricas).

Abstract

The use of biomass conversion is an interesting solution for both energy generation and for the disposal of waste, in a form less aggressive to the environment. Pyrolysis is a decomposition reaction that occurs by the act of high temperatures. Occurs the rupture of the original molecular structure of a compound by the action of heat in an environment with little or none oxygen. The process is self-sustaining because the chemical decomposition by heat in the absence of oxygen, produces more energy than it consumes. The pyrolysis produces liquid and gas biofuels such as bio-oil and synthesis gas. The main objective nowadays is the development of industrial-scale plant for the production of bio-oil as fuel for their application. This research aims to develop a flex pyrolyzer able to operate with different types of fuels such as technological alternative to the use of natural gas in TPP (Thermal Power Plants).

1 Introdução

O presente projeto tem como objetivo principal a verificação das propriedades energéticas de diversos tipos de biomassa, a escolha da melhor matéria-prima e a análise dos gases produzidos pela sua utilização em um pirolisador multicombustível. Este objetivo será alcançado após serem realizadas as seguintes metas:

- 1- Revisão bibliográfica;
- 2- Caracterização dos insumos energéticos;
- 3- Análise qualitativa e quantitativa dos gases produzidos no pirolisador;
- 4- Estudos do Sistema de purificação do gás sintético e da elevação do poder calorífico;
- 5- Emissão do Relatório Final e Publicação de Artigo

Essa pesquisa, que continua em andamento, é realizada na POLICOM-UPE, com ajuda de mestrandos, doutores, docentes e discentes que entendem sobre o assunto vigente. Esse projeto é de grande importância para o conhecimento de engenheiros que visam trabalhar na área de Engenharia Térmica, Sistemas Elétricos de Potência e Fontes alternativas de energia, pois essa tecnologia tende a se tornar uma alternativa para a geração de energia elétrica.

2 Material de Estudo

A fim de diminuir a dependência em relação às fontes não renováveis e possibilitar a geração de mais eletricidade em um sistema pouco diversificado, as pesquisas para o uso de fontes renováveis de energia, como a biomassa, foram intensificadas. A utilização da energia da biomassa, que compreende toda a energia proveniente das vegetais e os resíduos resultantes de seu uso, surge como uma alternativa promissora e ambientalmente viável para a redução do consumo de combustíveis fósseis e pode contribuir significativamente para a diminuição das emissões dos gases do efeito estufa [1]. O interesse na utilização deste insumo renovável para geração de energia é atribuído, principalmente, ao fato de o mesmo ser capaz de produzir energia de forma contínua (energia firme), ser neutro na produção de dióxido de carbono, fornecer a energia nas diversas formas (combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, calor e eletricidade) conforme a sua aplicação e conseguir suprir a necessidade de energia sem sistemas complexos de conversão [2]. Além disso, a utilização da biomassa com base em culturas energéticas pode ajudar na restauração de terras improdutivas e degradadas, fertilização do solo e retenção de água [3].

A alternativa de pirolisar a biomassa, transformando o seu potencial em gás e, posteriormente, em combustível para uma usina termelétrica que não dispõe de outro combustível fóssil, torna-se cada vez mais atraente, principalmente quando se trata de locais isolados e desprovidos de eletricidade.

2.1 Pirólise

Com o objetivo de concentrar a energia da biomassa, preferimos neste desenvolvimento realizar a pirólise rápida com tempo de reação de 0,5 – 1 s, a 500-550 °C em ausência de oxigênio, com aquecimento indireto através de recirculação de gases da própria pirólise eletricamente aquecidos e aquecimento elétrico da parede metálica do reator para produzir cerca de 65 % de óleo pirolítico, 20% de carvão vegetal e 15% de gás de pirólise.

A transferência rápida de calor para a biomassa é a principal dificuldade do processo de pirólise rápida, assim, preferimos que a biomassa seja seca, opcionalmente torrada, moída e classificada em pedaços menores do que 3 mm.

2.2 Pirolisador

O processo se inicia com biomassa seca, e moída alimentada a partir do Silo de Alimentação Agitado, com Rosca Transportadora refrigerada e selada com o próprio gás de pirólise para evitar fluxo de gases do reator para o silo. O reator é um Leito Fluidizado contendo areia, fluidizada com gases não condensados da própria pirólise alimentados pelo soprador, na qual a biomassa é alimentada. A altura do leito expandido é de 300 -400 mm. O reator possui instaladas externamente resistências elétricas no plenum e no leito para aquecimento através da parede metálica. O carvão vegetal mais grosso produzido no reator é removido logo acima do leito de areia expandido para um Depósito de Carvão.

Os gases pirolíticos quentes, com temperatura 500 -550 °C, arrastam os carvões mais finos, cinza e finos da areia formados por atrito na fluidização que passam através de dois ciclones isolados com fibra cerâmica e aquecidos com filamentos de resistência elétrica necessários para início de operação e para evitar a condensação de alcatrão pesado na parede interna do equipamento.

As frações de carvão vegetal provenientes dos ciclones são coletadas nos depósitos para carvão. Os gases pirolíticos quentes provenientes do ciclone são enviados para "Quencher" Adiabático e Separador de Fases. O líquido utilizado para "Quench" é o condensado sobrenadante do separador de fases por ser imiscível com o alcatrão pesado. Antes de ser alimentado no o líquido é resfriado até 15 °C

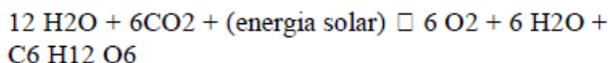
e injetado em aspersores pela bomba com pressão de 2-4 bar. A fase gasosa efluente do quencher encontra-se saturada a 16°C e passa pelo separador ciclônico para remoção de gotas e em seguida é dividida em duas frações, uma para o queimador de gás e outra para o resfriador com gelo para ser resfriada a 0°C, para elevar o índice de remoção de voláteis condensáveis, é recirculado através do soprador. Antes de ser injetada no leito fluidizado essa corrente é aquecida até 500-550 °C com o Aquecedor Elétrico. Após consumir totalmente a biomassa, durante o resfriamento dos equipamentos e das linhas é realizada a purga com gás inerte proveniente do cilindro contendo nitrogênio ou argônio.

2.3 Biomassa

Biomassa é toda matéria orgânica oriunda de seres vivos encontrados nos seus respectivos ecossistemas, sejam eles terrestres ou aquáticos, mas que, principalmente, aqueles que acumulem energia para sua manutenção. A biomassa é um recurso renovável, visto que a sua reposição no meio ambiente acontece dentro de uma escala de tempo dita como „humana“ ou seja; ao longo da vida de um ser humano. Esses recursos são considerados infinitos, pois tanto os vegetais quanto os animais se reproduzem, perpetuando a existência de sua espécie. No caso do petróleo, apesar de ter origem em compostos de biomassa vegetal restos de animais e plantas, sua reposição pela natureza se dá em escalas de tempo muito superiores à humana, por isso é definido como uma fonte não renovável de energia.

2.4 Biomassa Vegetal e Energia

A biomassa vegetal contém cadeias de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) em proporções que variam de acordo com cada espécie. A presença de O na base química da biomassa vegetal é que a diferencia dos combustíveis fósseis que possuem principalmente cadeias de C e H. Em seu ciclo de vida, os seres vegetais são chamados de autótrofos, isto é, produzem seu próprio alimento e para isso utilizam-se do processo de fotossíntese. O CO₂, produto da reação é absorvido pelos vegetais no processo da fotossíntese, conforme mostra a equação.



Assim, o processo de conversão energética da biomassa vegetal só restitui para a atmosfera o gás carbônico (CO₂) absorvido pelo vegetal no seu processo de crescimento, fazendo com isso o ciclo fechado do C ocorrer. Esse reaproveitamento do C dá ao uso da biomassa vegetal uma vantagem em relação aos combustíveis fósseis, onde

neste caso o CO₂ (com seus subprodutos como CO) é lançado na atmosfera, em quantidades muito elevadas para que ocorra a absorção total pelos vegetais [5].

3 Escolha da Biomassa

Para que fosse possível realizar a escolha das espécies foi enviada à EMLURB(Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana) uma carta de intenções para que a mesma fornecesse à Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco a matéria prima necessária aos testes. Nessa correspondência, endereçada à DLU(Diretoria de Limpeza Urbana), foi solicitado que fossem enviado ao UPE(Universidade de Pernambuco) 500 kg de material lenhoso proveniente das espécies vegetais conforme tabela1:

Tabela 1. Espécies Escolhidas.

NOME	USUAL CIENTÍFICO
Acácia Mimosa	<i>Phitecolobium Dulce</i>
Amendoeira	<i>Terminália Catappa</i>
Ficus	<i>Ficus bejamina L.</i>
Oitizeiro	<i>Licania Tomentosa</i>

As 4 espécies escolhidas foram definidas por comporem as mais encontradas na Região metropolitana de Recife. Essa informação foi obtida no estudo realizado por Fátima M. (2005). Em sua pesquisa de campo ela identificou 1527 indivíduos de 31 espécies que comprometiam (ou poderiam vir a comprometer) a manutenção do funcionamento das redes de distribuição elétrica da CELPE(Companhia Energética de Pernambuco). As 4 espécies selecionadas estão dentre as 5 que possuem maior frequência. Além disso, Fátima M. (2005) cita que Recife foi a cidade onde se encontrou a maior abundância de espécies, ficando acima de 40% do total de indivíduos levantados.

O que poderia colaborar para as informações das espécies existentes em Recife, seria a informação da própria Prefeitura, mas infelizmente, ela não dispõe de números oficiais de quantidades de espécies plantadas, razão pela qual se buscou as informações em trabalhos científicos e em depoimentos de profissionais da área responsável pelas podas.

4 Impactos

A utilização da biomassa como fonte de energia, tem gerado grande interesse em virtude da decadência das reservas de combustíveis fósseis, sendo o Brasil o terceiro maior produtor de bio-eletricidade perdendo apenas para os Estados Unidos e a Alemanha [6]. O estabelecimento dessa nova tecnologia de conversão de matéria-prima é uma grande oportunidade principalmente na geração de eletricidade para regiões isoladas.

Uma das grandes desvantagens da utilização da biomassa consiste na grande demanda de mão-de-obra intensiva para produzir, colher, transportar, pois a mesma se encontra dispersa nas grandes regiões. Porém, essa grande necessidade de mão-de-obra é uma excelente oportunidade para a geração de empregos nas plantações.

Enfim, além dessa tecnologia ser de grande ajuda na área ambiental e socioeconômica, possui seu lado negativo em virtude do alto teor de cinzas. Porém, seus grandes efeitos minimizam as dificuldades, pois a biomassa é considerada o combustível com grande potencialidade no setor elétrico como alternativa em virtude do declínio dos combustíveis fósseis.

5 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

Nos primeiros meses do Projeto, ocorreram os levantamentos bibliográficos sobre o processo de pirólise por meio das teses de doutorados. Além de livros e seminários ligados ao assunto com a finalidade de dar prosseguimento à pesquisa.

Após o período de entendimento teórico sobre o assunto, houve o treinamento, com ajuda de mestrandos, doutores, docentes e discentes que trabalham na UPE, para a utilização dos equipamentos do laboratório de combustíveis com a finalidade de executar os ensaios necessários para a caracterização das biomassas.

De forma a manter a mesma coerência com a atividade diária do processo, pela manutenção das árvores, foi solicitado na carta para a EMLURB que a mesma enviasse a biomassa vegetal em cavacos, utilizando-se do mesmo equipamento que é usado hoje nas ruas. Por definição de projeto e como característica de melhor desempenho, o Piroli-sador deve ser abastecido com biomassa vegetal em tamanhos não maiores que 3mm, porém a biomassa vegetal é fornecida pela EMLURB na forma de cavacos.

5.1 Variáveis analisadas / Tipos de análises de dados

A análise da biomassa consiste em caracterizar através de procedimentos que visam avaliar as propriedades físico-químicas das matérias-primas. Para tal finalidade, realizam-se as seguintes etapas: pré-tratamento da matéria-prima, caracterização físico-química e ensaios de gaseificação e pirólise da biomassa. Todos esses procedimentos são realizados no laboratório de combustíveis e energia POLICOM, que dispõe de equipamentos adequados para os ensaios laboratoriais.

5.2 Pré-tratamento da matéria-prima

Um dos primeiros procedimentos para realizar a análise laboratorial da biomassa consiste em promover a secagem da matéria-prima ao ar, seguido de uma moagem de uma pequena quantidade com diâmetros de até 3,0mm. O equipamento utilizado para tal procedimento consiste no moinho de rotor vertical com facas, ver figura 1 que promove o tritramento das amostras ocasionando o aumento da superfície de contato forçando as partículas menores.



Figura1. Moinho de rotor vertical com facas.

6 Caracterização de Biomassa Vegetal

O segundo passo consiste em realizar ensaios para obter a caracterização físico-química e energética da biomassa. Nessas análises são obtidos a granulometria, umidade, densidade a granel, poder calorífico, análise imediata, análise elementar e cinzas.

Os ensaios em cada espécie representam a média de cinco ensaios sequenciais ocorridos sem interrupções relevantes. Os resultados de cada ensaio estão demonstrados a seguir. Os testes seguiram as respectivas normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

6.1 Granulometria

Os resultados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Granulometria por espécie.

ESPÉCIE	GRANULOMETRIA (mm)
ACÁCIA MIMOSA	4,138
AMENDOEIRA	3,107
FÍCUS	3,231
OITIZEIRO	3,495

Foram peneirados ($2,00 \pm 0,10$) kg de cada uma das quatro biomassas em uma peneira mecânica vibratória BERKEL, utilizando-se as malhas de $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{4}$ polegadas e Mesh 4, 8, 16, 30 e 50 (respectivamente, 12,7, 6,35, 4,76 2,38, 1,19, 0,595 e 0,297 mm). Os resultados da tabela 2 mostram que, caso não sofram triturações posteriores, as pirólises de algumas espécies terão maior dificuldade na produção dos gases condensáveis, devido à maior granulometria de algumas das quatro espécies, principalmente a Acácia e o Oitizeiro. Na pirólise, biomassas de maior granulometria têm um maior tempo de aquecimento de toda partícula, o qual facilita a continuidade das reações químicas em seu interior, diminuindo a produção dos gases condensáveis e acelerando a produção do carvão. Por outro lado, partículas com menor granulometria, como o resultado da Amendoeira por exemplo, oferecem menor resistência ao escape dos gases, os quais são extraídos com maior rapidez, evitando-se as reações subsequentes, aumentando a parcela de gases e diminuindo a quantidade de carvão. Como conclusão da análise da granulometria, será necessário para três das quatro espécies, uma outra etapa de trituração, visando trazer sua esfericidade para próximo de 3 mm. Esse procedimento não é totalmente inviável considerando que o uso de trituradores já uma prática constante nos processos de poda em Recife. Se faz necessário

a mudança das facas nos trituradores existentes e talvez o uso de peneiras pós-trituração.

6.2 Umidade (% MASSA)

A umidade é uma característica intrínseca da biomassa vegetal. Devido à sua natureza higroscópica, decorrentes de sua composição química, a madeira é capaz de absorver ou liberar água para o meio ambiente. Além disso, a umidade afeta diretamente o PCS da biomassa vegetal, diminuindo sua capacidade energética, pois quanto maior a umidade presente na biomassa mais energia se consome para evaporar a água presente. Ou seja, o PCS da biomassa vegetal é inversamente proporcional a sua umidade no momento da queima. Partículas adequadas para pirólise devem ter em torno de 10 % em peso de umidade. Analisando os resultados da tabela 3, verifica-se que das quatro espécies pesquisadas, somente a Amendoeira tem um percentual adequado ao uso em pirólise de leito fluidizado sendo nas demais necessária uma secagem anterior à colocação da biomassa no silo do Pirolisador.

Tabela 3. Teor de umidade por espécie.

ESPÉCIE	UMIDADE (% em massa)
ACÁCIA MIMOSA	$23,240 \pm 0,107$
AMENDOEIRA	$11,140 \pm 0,268$
FÍCUS	$14,098 \pm 0,166$
OITIZEIRO	$15,348 \pm 0,131$

6.3 Densidade a Granel

Os resultados são exibidos na Tabela 4.

Tabela 4. Densidade a granel por espécie.

ESPÉCIE	DENSIDADE (kg m ⁻³)
ACÁCIA MIMOSA	$188,657 \pm 2,439$
AMENDOEIRA	$308,809 \pm 2,379$
FÍCUS	$375,269 \pm 5,641$
OITIZEIRO	$362,106 \pm 2,828$

Em reatores de leito fluidizado a taxa de alimentação da biomassa no reator deve ser calculada para cada espécie vegetal, já que na formação do leito fluidizado a densidade da biomassa vegetal é um fator importante para o sucesso da pirólise. Outro fator importante afetado pela densidade refere-se à transferência de calor do material inerte para a biomassa vegetal. Em reatores de leito fluidizado, para que haja uma boa homogeneização da temperatura do leito e uma rápida transferência de calor do material inerte para a biomassa, deve haver o contato físico entre as partículas de biomassa e inerte. Isso só se consegue com uma D_b aproximadamente igual à D_i , onde D_b é a densidade da biomassa e D_i a densidade do inerte. Valores muito diferentes entre D_b e D_i ocasionam o fenômeno da segregação, o qual traz efeitos indesejáveis à pirólise, como por exemplo a formação de mais carvão e menos gás. O que se observa da tabela 4 é que para duas das quatro espécies estudadas pode utilizar uma mesma taxa de alimentação da biomassa e um mesmo inerte, já que elas se apresentam com D_b muito próximas. Isso é importante se considerarmos o ganho de tempo nos ajustes do Pirolisador e na execução da pirólise.

6.4 Poder Calorífico Superior e Inferior

Medir o poder calorífico de uma amostra consiste em determinar a quantidade de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa com isso obter o PCS (poder calorífico superior) e o PCI (poder calorífico inferior).

Quanto maior o PCI de uma biomassa vegetal, melhor sua capacidade de gerar energia. Observa-se na análise da Tabela 5 que a Amendoeira apresenta seu PCI com valores superiores às demais espécies analisadas, sendo um importante parâmetro quando se optar pela sequência de ensaios de pirólise para produção de produtos energéticos. Comparando o resultado da tabela 5 com a frequência das espécies encontradas em Recife, a Amendoeira aparece também como a espécie de maior quantidade de indivíduos 16 % encontradas.

Tabela 5. PCS e PCI por espécie.

ESPÉCIE	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)
ACÁCIA MIMOSA	17,997 ± 0,069	17,762 ± 0,074
AMENDOEIRA	18,527 ± 0,093	18,364 ± 0,091
FÍCUS	15,047 ± 0,058	14,845 ± 0,059
OITIZEIRO	16,891 ± 0,140	16,669 ± 0,182

“A bomba calorimétrica é um equipamento frequentemente utilizado para a determinação do poder calorífico de combustíveis sólidos e líquidos. Uma determinada quantidade do combustível é fechada dentro de um recipiente de metal, que posteriormente, sofre uma injeção de oxigênio para atingir a pressão requerida pelo equipamento de teste. Para o Calorímetro IKA C-2000 está pressão é de 30 bar. A bomba é então mergulhada em um

recipiente com parede dupla contendo água em seu interior. A temperatura da água é medida em função do tempo antes, durante e depois do processo de ignição e conhecendo-se a massa de água do sistema, massa e calor específico do recipiente e as curvas de aquecimento e resfriamento da água; a energia liberada durante o processo de combustão pode ser determinada. Um agitador assegura a uniformidade da temperatura da água ao redor da bomba. Para obtenção do PCI são necessárias titulações cujos resultados devem ser digitados na tela do calorímetro para cálculo do PCI (procedimento do fabricante). Ver figura 2 e 3.



Figura 2. Calorímetro Digital.

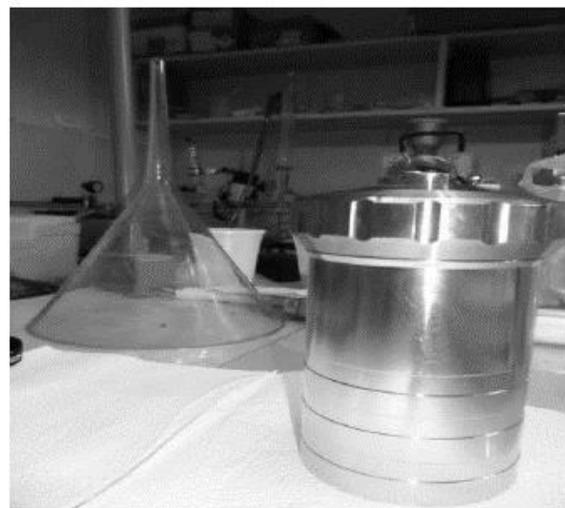


Figura 3. Bomba calorimétrica.

6.5 Análise Imediata (%MASSA)

O resultado da análise imediata para as quatro espécies mostrado na tabela 6 torna evidente a preocupação ao fazer

a pirólise da espécie Ficus, devido ao elevado teor de cinzas produzido. Espécies com maior quantidade de frações voláteis fornecem melhor desempenho na pirólise [7]. Isso porque a fração volátil da espécie vegetal é a única que participa dos processos de pirólise conforme o esquema representado na figura 4. A fração volátil da biomassa se decompõe através de duas reações paralelas em gases e alcatrão (reações R1 e R2 da figura 4). O alcatrão se decompõe em gases e carbono fixo (reações R3 e R4 da figura 4).

Tabela 6. Composição Imediata por espécie

ESPÉCIE	CF	V	A
ACÁCIA MIMOSA	16,790 ± 0,895	82,740 ± 1,120	1,435 ± 0,652
AMENDOIEIRA	17,920 ± 0,735	80,950 ± 1,352	1,275 ± 0,458
FÍCUS	11,970 ± 0,655	81,340 ± 2,543	7,540 ± 2,564
OITIZEIRO	14,650 ± 0,965	82,250 ± 1,856	3,630 ± 0,952



Figura 4. Principais componentes e reação química da biomassa

6.6 Análise Elementar (%MASSA)

Biomassas com maior teor de carbono e hidrogênio tendem a ser potencialmente mais energéticas do que as que possuem maior teor de oxigênio. O resultado da análise elementar das quatro espécies selecionadas apresentados na Tabela 7 mostra um melhor desempenho energético para a Amendoieira, o que reforça a tese dessa espécie ser aquela de melhor aproveitamento energético.

Tabela 7. Composição Elementar por espécie

ESPÉCIE	C(%)	H(%)	O(%)	N(%)	S(%)
ACÁCIA MIMOSA	41,548 ± 0,357	6,795 ± 0,088	50,413 ± 0,322	0,864 ± 0,044	0,380 ± 0,010
AMENDOIEIRA	47,535 ± 0,297	6,895 ± 0,037	44,422 ± 0,306	0,754 ± 0,030	0,395 ± 0,006
FÍCUS	44,875 ± 0,431	6,867 ± 0,129	46,996 ± 0,497	0,897 ± 0,006	0,365 ± 0,011
OITIZEIRO	43,965 ± 0,557	6,655 ± 0,058	48,200 ± 0,512	0,825 ± 0,016	0,355 ± 0,015

6.7 Cinzas (%MASSA)

Biomassa com maior teor de cinzas tem desempenho mais baixo nos processos de pirólise. Parte da energia térmica atua nas cinzas que devido seu teor inorgânico não produz nenhum componente energético, sendo considerado uma energia perdida.

Dentre as quatro espécies selecionadas, notadamente os resultados mostrados na tabela 8, a Acácia e a Amendoieira são as que possuem menores percentuais, que indica que estas são as que apresentam um melhor aproveitamento energético. A espécie Ficus deve ser reavaliada na sua forma de coleta e preparo antes de iniciar a pirólise.

Tabela 8. Teor de cinzas por espécie.

ESPÉCIE	% CINZAS
ACÁCIA MIMOSA	1,542 ± 0,066
AMENDOIEIRA	1,392 ± 0,025
FÍCUS	7,783 ± 0,341
OITIZEIRO	3,920 ± 0,090

7 Variáveis do Pirolisador

Desde a chegada do Pirolisador na UPE foram feitas diversas partidas do equipamento e em nenhuma delas ocorreu funcionamento em regime estável. Parte da explicação para essa dificuldade se refere à quantidade de variáveis envolvidas no processo de pirólise rápida. Se forem feitas as análises aprofundada nas variáveis que influenciam o processo de pirólise nos reatores de leito fluidizado, pode-se identificar e separar essas variáveis como sendo dependentes e independentes [8].

Variáveis dependentes na pirólise rápida em reator de leito fluidizado:

Variáveis de processo:

- 1- Distribuição de temperatura ao longo do reator;
- 2- Tempo de residência das partículas sólidas no reator;
- 3- Composição dos gases na saída do reator.

Variáveis de processo:

- 1- Distribuição de temperatura ao longo do reator;
- 2- Tempo de residência das partículas sólidas no reator;
- 3- Composição dos gases na saída do reator.

Variáveis de qualidade:

- 1- Rendimento de carvão, bio-óleo e gás;

- 2- Características do subproduto da pirólise rápida (carvão, bio-óleo, gás e cinzas)

Variáveis independentes na pirólise rápida em reator de leito fluidizado:

Variáveis relacionadas com a biomassa:

- 1- Diâmetro equivalente médio das partículas de biomassa (Diâmetro de Sauter);
- 2- Densidade real e aparente; 3- Umidade; 4-Tipo de biomassa (amendoeira, acácia mimosa, Ficus e oitizeiro).

Variáveis relacionadas com o material inerte do leito:

- 1- Diâmetro equivalente médio das partículas. (Diâmetro de Sauter)
- 2- Densidade aparente do leito de material inerte.
- 3- Tipo de material inerte.

Altura estática do material inerte do Leito:

- 1- Concentração de material inerte no leito

Variáveis relacionadas com o fluxo de entrada:

- 1- Vazão mássica de biomassa alimentada;
- 2- Vazão mássica de ar suprido ao reator;
- 3- Temperatura do ar na entrada do soprador.

7.1 Ensaios Exploratórios de Pirólise

O grupo de trabalho que desenvolveu os testes exploratórios na planta piloto de pirólise rápida em leito fluidizado na UPE identificou, ao longo dos meses de tentativa de partida dos equipamentos, diversas dificuldades (algumas superadas) que impediram o funcionamento de forma estável. Todas as possíveis variáveis dependentes e a maioria das independentes que poderiam afetar o desempenho do equipamento foram estudadas. A Figura 5 mostra uma vista geral do pirolisador durante o primeiro teste. Nesta oportunidade foi utilizado Argônio como gás inerte na entrada do soprador. A tabela 9 representa em ordem cronológica os principais problemas levantados nos testes exploratórios, suas causas e, em alguns casos, as soluções encontradas.



Figura5. Pirolisador em período de teste.

Tabela 9. Dificuldades, causas e soluções nos ensaios exploratórios no Pirolisador

Dificuldade	Causa	Soluções
Pouca altura do leito fluidizado	Possível presença de elementos que aumentam perda de carga a montante do soprador	Retirado elemento filtrante do trecho a montante da sucção.
Pouca altura do leito fluidizado	Idem acima, porém a jusante do soprador.	Substituição da manta do leito fluidizado por tela. Mudança na configuração do plenum.
Pouca altura do leito fluidizado	Problemas com o soprador	Substituição do soprador por outro idêntico.
Inconsistência na vazão da biomassa pela rosca alimentadora.	Gases de pirólise 'queimam' a biomassa dentro da rosca alimentadora.	Trabalhar com biomassa com umidade abaixo de 10%.
Retorno dos gases pelo silo.	Elevada resistência ao escoamento dos gases de pirólise. Possivelmente provocada pela elevada concentração de partículas de inerte	Diminuir altura do leito do inerte; Diminuir tamanho das partículas de inerte; Diminuição da folga entre duto e rosca alimentadora; Vedar a entrada do silo.
Acúmulo de biomassa e carvão no leito do reator.	Tempo elevado de permanência da biomassa dentro do reator	Ajustar a relação agente gaseificante/biomassa ;
Segregação da biomassa com o material inerte	Elevadas relações entre os diâmetro médios (D) e densidades (d) da biomassa (b) e do material inerte (m);	Trabalhar com a relação $D_b / D_m = 1$ e com a menor relação possível entre d_b / d_m
Temperatura baixa no plenum	Configuração inadequada da entrada do plenum. Baixa eficiência da resistência elétrica.	Substituição da fonte de energia térmica elétrica por GLP; Retroalimentar plenum com os gases da queima do GLP.
Baixa eficiência no quencher	Quantidades e posicionamento inadequado dos orifícios de aspersão.	Nova configuração dos orifícios. Troca por aspersores(pendente).

A primeira tentativa de gerar produtos de pirólise foi realizada utilizando como matéria prima serragem adquirida de marcenaria existente na região próxima à POLIUE(Universidade Politécnica de Pernambuco). Os procedimentos adotados foram os descritos no documento do fornecedor do pirolisador. No primeiro teste, a rotação da rosca alimentadora, comandada pelo inversor de frequência foi ajustada para garantir uma vazão de serragem mínima, em torno de 0,95kg/h. Mesmo tendo sido adotados

todos os procedimentos sugeridos no documento do fornecedor, a primeira rodada de testes produziu resultado totalmente insatisfatório. Durante o funcionamento foi constatada apenas a produção de vapor d'água e alguns poucos traços de óleo em partes frias do quencher. Diante desse insucesso a equipe de testes resolveu desmontar o reator para observar o seu interior e entender melhor o funcionamento do mesmo. Após a retirada do reator, foi constatada a completa ausência de material inerte (areia), componente indispensável para a formação do leito fluidizado. Sem este material, a troca de calor necessária à pirólise/gaseificação é bastante prejudicada, impossibilitando a produção dos gases. A Figura 6 mostra a região do prato distribuidor após retirada do reator com biomassa seca e sem material inerte.

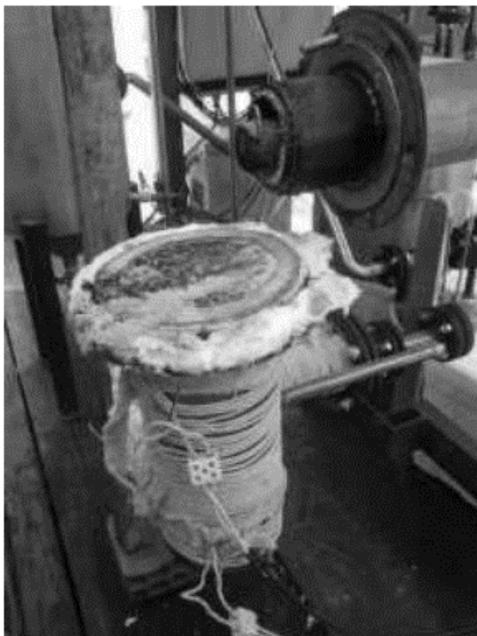


Figura 6. Região do prato de distribuição – zona de pirólise.

Presença de carvão no leito indica possível deficiência na fluidização da biomassa. A ausência da areia pode representar aumento da velocidade que fez o inerte sair para os ciclones. Entretanto, além de não se encontrar sólidos nos ciclones, a presença de finos de carvão presos ao leito figura 7 nos leva a crer na existência de arraste dos elementos do leito.



Figura 7. Base do reator. Lado esquerdo: após a primeira retirada do corpo do reator.

Numa nova etapa de ensaio exploratório, a equipe de testes resolveu avaliar de modo mais preciso a vazão do soprador e possíveis restrições tanto na sucção quanto na tubulação de descarga do mesmo. Para isso foi utilizado o método de medição da vazão através do uso de placa de orifício. Após a verificação da altura da coluna de líquido manométrico (820 mm), utilizando o procedimento de cálculo a altura manométrica correspondeu a uma vazão de $0,181 \text{ m}^3/\text{min}$, o que corresponde a 14% da vazão anunciada na placa do soprador, mesmo com a admissão de ar externo em posição totalmente aberto [9]. Em seguida foi verificada possível perda de ar nas conexões, incluindo entrada e saída do soprador. Não se verificou a presença de vazamentos relevantes que justificassem a baixa vazão apresentada. Além do reaperto em todo sistema, a equipe de testes efetuou a diminuição da espessura da camada de lã de rocha que fica localizado entre os dois discos metálicos com furos para a passagem do gás fluidizante. A Figura 8 mostra a camada de lã de rocha antes da substituição.



Figura 8. Manta retentora com finos de carvão.

Em seguida foi avaliado o desempenho da rosca alimentadora. Foi utilizado um bequer de 2 litros para coletar a biomassa expelida pela rosca alimentadora em intervalos de tempo de 5 minutos. A rotação da rosca foi modificada alterando o potenciômetro de comando do inversor de frequência. A Tabela 10 mostra os resultados obtidos neste experimento. A Figura 9 mostra a coleta de biomassa.



Figura 9. Coleta de biomassa para medição de vazão mássica.

Tabela 10. Vazão da rosca alimentadora.

Inversor	Tempo	Massa (g)
10%	5 min	28
		32
		85
20%	5 min	148
		112
30%	5 min	227
		77

Pela análise da tabela 10, constata-se um funcionamento totalmente irregular da rosca alimentadora. Os valores grafados em vermelho mostram resultados totalmente fora do esperado. Durante a medição da vazão, houve intervalos de tempo em que nenhuma biomassa era expulsa da rosca o que justifica os valores bem menores.

Fica desta forma, evidente a baixa credibilidade no funcionamento deste componente, o que sugere a necessidade de uma análise mais detalhada da construção e do funcionamento da rosca alimentadora.

Em função da constatação da baixa vazão de ar na entrada do pleno do reator, a equipe de testes resolveu desmontar novamente o equipamento para verificações de possíveis restrições ao escoamento. Ao desmontar a tubulação de recalque do soprador, além da válvula de restrição, registro globo, reduções e expansões bruscas que podem ser visualizadas externamente, foi constatada a presença de muito material metálico inserido na tubulação com o objetivo de melhorar a troca de calor com o ar, aquecendo-o antes de entrar no pleno. A figura 10 mostra o material metálico inserido na tubulação. Também foram realizados procedimentos para detectar possíveis vazamentos de ar ao longo da tubulação. Com o soprador em funcionamento, as juntas e pontos críticos foram observados utilizando-se o tradicional método da espuma de água e sabão e não foram descobertos vazamentos na linha.

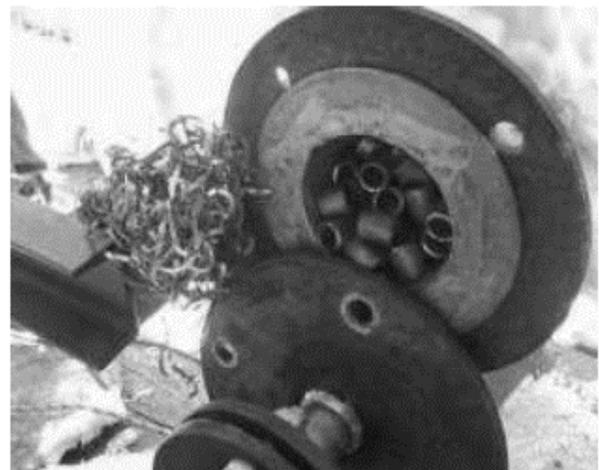


Figura 10. Metal inserido na tubulação.



Figura 11. Alcatrão presente na tubulação.



Figura 12. Filtro saturado com alcatrão.



Figura 13. Alcatrão na entrada do filtro trap.

Diante da observação desses fatores negativos e buscando sua solução, foram realizadas as modificações mostradas na figura 14, para otimização do projeto:

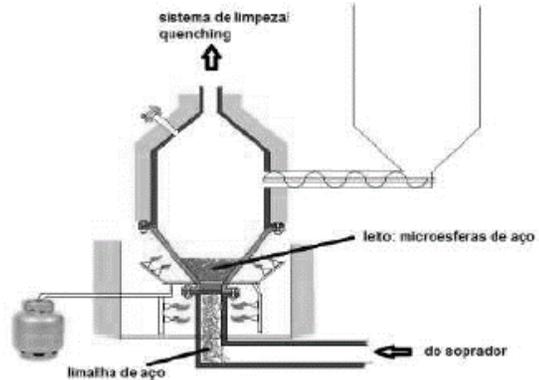


Figura 14. Sugestões de alteração no plenum.

1. Substituição do aquecimento elétrico por sistema de aquecimento a gás simulando a utilização do próprio gás gerado pelo pirólisador. O controle da temperatura no leito foi realizado medindo-se com termopar e variando a vazão do gás de alimentação.
2. Mudança na forma e dimensões e material do plenum do reator. Conforme se pode observar na figura 15, na atual configuração, a distância entre a saída da rosca alimentadora e a grelha que suporta o leito é muito pequena. Entende-se que uma altura maior irá proporcionar uma melhor mistura da biomassa com o material inerte do leito. Além disso, note-se que a grelha que suporta o leito tem uma malha de grande diâmetro. Desta forma a grelha foi substituída por uma tela colocada na junção da tubulação com a base do reator.
3. Mudança nos trechos a montante e a jusante do soprador. Observando-se a tubulação a jusante do soprador constata-se a existência de uma válvula de retenção, um cotovelo de 90 graus, uma válvula gaveta, o medidor de vazão de placa de orifício, outro cotovelo de 90 graus e uma expansão brusca, até chegar ao coletor que suporta a grelha e o corpo do reator, mostrado na figura 18, onde também se pode ver na extrema esquerda da foto o medidor de vazão com as conexões das mangueiras do manômetro de mercúrio. Foi suprimida a válvula de retenção, por ser desnecessária, e suprimiu-se também a expansão brusca, mantendo-se a tubulação com o mesmo diâmetro desde a saída do soprador até a chegada

à grelha. Estas mudanças permitiram uma menor perda de carga e mais velocidade ao atravessar os furos da grelha, permitindo maior fluidização no leito. A figura 16 mostra as mudanças nas tubulações. Ademais, a mudança da forma geométrica da base do corpo do reator, que passou da forma cilíndrica para a forma cônica, conforme mostrado nas figuras 15. A nova forma cônica proposta facilitaria a mistura da biomassa com o material inerte, que por ter mais densidade proporcionaria maior contato (abrasão) proporcionando maior troca de calor. E as mudanças na entrada e saída dos gases que também podem ser observadas nas figuras 17 e 18.

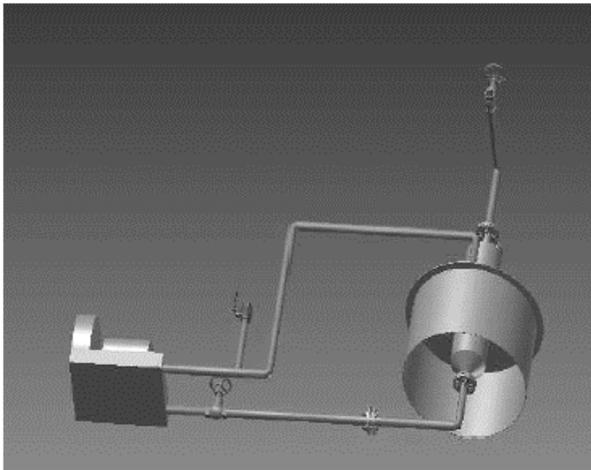


Figura 15. Modificações entrada e saída gases

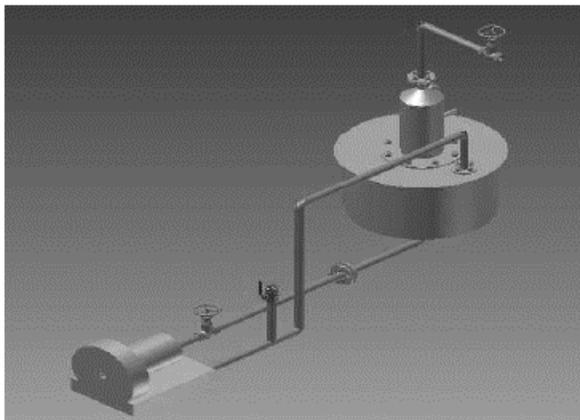


Figura 16. Modificações na entrada e saída de gases

Os resultados obtidos nos ensaios exploratórios possibilitaram e continuam possibilitando um maior conhecimento dos fenômenos que ocorrem na pirólise rápida de biomassa vegetal lenhosa, bem como estabelecer níveis adequados para as variáveis independentes.

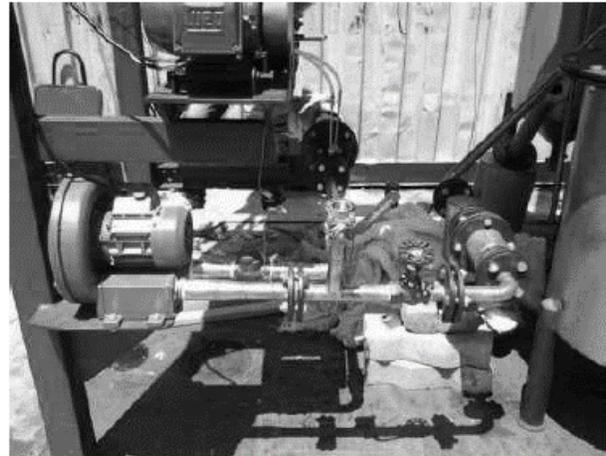


Figura 17. Tubulações antigas a montante e a jusante do soprador.

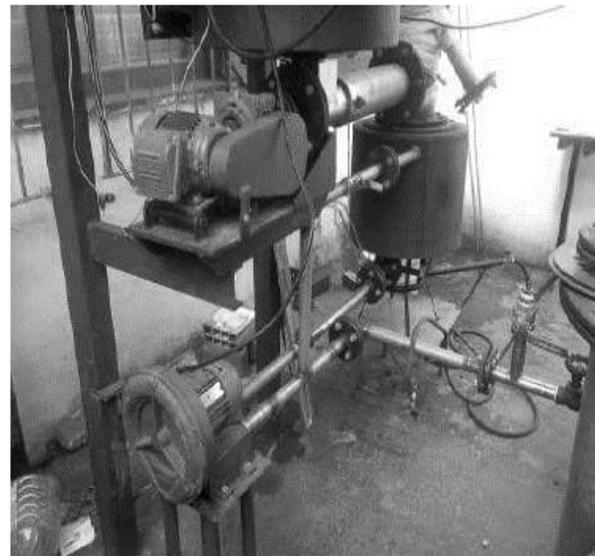


Figura 18. Nova configuração e tubulações a montante e a jusante

8 Resultados Obtidos

Os resultados das análises em laboratório demonstraram que, de forma geral, todas as quatro espécies selecionadas atendem aos critérios prévios para pirólise. Entretanto devem-se observar preparos prévios nos processos de secagem e trituração de algumas espécies. As tabelas representam os resultados comparativos entre as quatro espécies e demonstra o potencial energético presente nessas biomassas vegetais.

Com as modificações realizadas no aquecimento inicial com GLP, configuração do plenum, modificação da entrada dos gases no plenum, substituição do prato distribuidor, altura do leito, retirada de algumas válvulas e

acessórios e reposicionamento do soprador, ainda não foi alcançado o funcionamento estável do equipamento. Em recente tentativa observou-se um início de queima do gás, porém em quantidade insuficiente para manutenção da chama. Momentos após esta constatação, foram coletadas amostras do gás produzido, que foram analisadas no Cromatógrafo onde não foi constatado presença de gases inflamáveis. Novos procedimentos estão sendo realizados, incluindo a desmontagem da rosca alimentadora para eliminar a falta de confiabilidade neste componente, visando garantir uma alimentação estável de biomassa em busca da produção de gás de pirólise, visto que já foi alcançada no leito fluidizado a temperatura de 550°C.

9 Conclusão

O projeto de iniciação “Utilização de diversos tipos de biomassa em pirolisador multicompostíveis” visa proporcionar o entendimento de uma tecnologia que vem se tornando destaque, pois é vista como uma das formas para a geração de energia elétrica, utilizando diferentes tipos de matéria-prima, com maior perspectiva para o futuro.

Essa pesquisa é de grande importância para o desenvolvimento acadêmico do estudante, pois proporciona um interesse com pela pesquisa científica através de levantamento bibliográfico sobre a pirólise de biomassa por meio de teses de doutorado, livros e seminários vinculados ao tema. Além de colocar em contato com pessoas, que entendem e compartilham sobre o assunto e que possuem capacidade técnicas para treinar o estudante na utilização dos equipamentos do laboratório de combustíveis (POLICOM-UPE) com a finalidade de executar os ensaios necessários para à caracterização da biomassa.

Contudo, o projeto sobre a pirólise de biomassa ainda está em andamento. O assunto abordado no projeto é de grande valor social, pois a biomassa é considerada o combustível com grande potencialidade no setor elétrico para o futuro.

Referências

- [1] A. V. Bridgwater, “Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass”, Chemical Engineering Journal, 2003, v.91, pp.87-102.
- [2] M.F. DEMIRBAS, T. M. BALAT, H. BALAT, “Potential contribution of biomass to the sustainable energy development”, Energy Conversion and Management, vol. 50, 2009, pp 1746-1760.
- [3] BRIDGWATER, A, “Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass”, Chemical Engineering Journal, 2003, pp. 87–102.
- [4] IEA - www.iea.org/topics/bioenergy/. acessado em 15/05/2014 as 19:00hs.
- [5] Cortez, L.A.B., Lora, E.E.S., Lora, Gómez E.O. BIOMASSA para energia, UNICAMP, 2008.
- [6] A.Demirbas, “A produção de biodiesel a partir de óleos vegetais com metanol supercrítico catalítico e não catalítico métodos de cátions” Selcuk University, 2005.
- [7] S.M. L. Souza, "Modelling and Simulation of Fluidized-Bed Boilers and Gasifiers for Carbonaceous Solids", Tese de doutorado (Ph.D.) apresentada à University of Sheffield, Department of Chemical Engineering and Fuel Technology, 1987.
- [8] J.M.Perez, L.A.Cortez, E.O.Gómes, J.D.Rocha, L. E.González, J.R.Nunhes, “Tecnologia de leito fluidizado para pirólise rápida de biomassa vegetal”, Analytica, 2010, pp. 32-36.
- [9] Brunetti, F, mecânica dos Fluidos, Apillada, 2008.