



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

EDCLEA DO NASCIMENTO REIS

**BIOCARVÃO E BIO-ÓLEO DE CASCAS DE COCO (*Cocos nucifera*
L.) SOB DIFERENTES TEMPERATURAS DE PIRÓLISE**

RIO LARGO, AL

2020

EDCLEA DO NASCIMENTO REIS

**BIOCARVÃO E BIO-ÓLEO DE CASCAS DE COCO (*Cocos nucifera* L.) SOB
DIFERENTES TEMPERATURAS DE PIRÓLISE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Graduação em Engenharia Florestal do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA, da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como requisito para obtenção do Título de Engenheiro Florestal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vânia Aparecida de Sá

Co-orientador: Pesq. Dr. Anderson Carlos Marafon

RIO LARGO, AL

2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

R375b Reis, Edclea do Nascimento

Biocarvão e bio-óleo de cascas de coco (*Cocos nucifera* L.) sob diferentes temperaturas de pirólise. / Edclea do Nascimento Reis – 2020. 53 f.; il.

Monografia de Graduação em Engenharia Florestal (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Vânia Aparecida de Sá
Coorientação: Dr. Anderson Carlos Marafon

Inclui bibliografia

1. Biomassa. 2. Resíduo agroindustrial. 3. Rendimento gravimétrico.
I. Título

CDU: 634.616

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDCLEA DO NASCIMENTO REIS

Biocarvão e bio-óleo de cascas de coco (*Cocos nucifera* L.) sob diferentes temperaturas de pirólise

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Alagoas

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, e aprovado em 01 de junho de 2020.

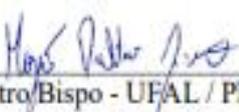


Prof.ª Dr.ª Vânia Aparecida de Sá, UFAL/CECA (Orientadora)

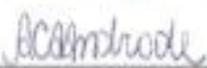
Banca Examinadora:



Prof.ª Dr.ª Vânia Aparecida de Sá – UFAL / CECA



Prof. Dr. Mozart Daltró Bispo - UFAL / PNPB - PPGEQ



Prof.ª Dr.ª Anna Carolina de Almeida Andrade – UFS/ CCAA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Jeová, pois sem Ele nada disso seria possível em minha vida. A Ele toda honra e glória.

A minha mãe Benedita, pelo amor, carinho e dedicação a nossa família, você é nosso maior exemplo. Obrigada por acreditar em mim e incentivar meus sonhos. Sem sua ajuda nada disso seria possível.

A meu pai Antonio, pelo amor e carinho, dedicados a mim e a minha irmã.

A minha irmã, Elaine, obrigada por ser essa pessoa incrível e companheira, você é meu maior orgulho.

Ao meu esposo, Jean, pelo amor e companheirismo durante todos esses anos, por me incentivar a ser uma pessoa melhor. E ao nosso filho Vinícius que mesmo sem entender é minha maior inspiração. Amo vocês.

A prof.^a Dr. Vânia Aparecida de Sá, pela amizade, dedicação, orientação, pelo tempo disponibilizado durante toda minha formação e principalmente por ter acreditado em mim.

Pesquisador Dr. Anderson Carlos Marafon, pela coorientação e pelo tempo disponibilizado em todo o processo de aprendizado durante o estágio.

Aos professores Dr. João Inácio Solleti e Mozart Daltro, por nos ceder o espaço no Lassop, para realização dos processos de pirólise e pelos conhecimentos transmitidos.

A André Felipe Câmara Amaral, por todas as análises realizadas, por nos transmitir um pouco de seu conhecimento e principalmente pela ajuda.

A Renata Guilherme pelo companheirismo durante nossa jornada, sem você os meus dias seriam muito tristes. Obrigada por chorar comigo nos últimos meses.

A Edja Araújo pela ajuda no processo de pirólise, pelos cafés da manhã e principalmente pelo companheirismo.

A Mauricio Leodino e Jonatas Lima, vocês fizeram minha jornada mais feliz. Obrigada a família madeirinha por fazerem meus momentos mais coloridos.

A todos do Laboratório de Produtos Florestais, a Carol Padilha, pelo incentivo e por me ajudar na realização dos trabalhos.

Aos meus professores e colegas de graduação, vocês foram essenciais nessa jornada.

A EMBRAPA Tabuleiro Costeiro- UEP- Rio Largo, pelo estágio supervisionado e pela realização das análises.

A Universidade Federal de Alagoas, pela minha formação.

RESUMO

O processamento e o consumo do coco, seco ou verde, geram grandes quantidades de resíduos que muitas vezes são mal gerenciados. No entanto, com o aumento da tecnologia voltada para a utilização de biomassa, a casca do coco pode ser uma importante matéria-prima para a produção de biocarvão. O biocarvão é um produto rico em carbono, obtido após processo de pirólise controlada e possui diversas aplicações. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi produzir biocarvão da casca de coco seca e verde através da pirólise controlada. As análises de caracterização das biomassas foram: umidade, densidade, extrativos, lignina, celulose, cinzas, hemiceluloses, poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) e análise da composição elementar. As análises para caracterização dos biocarvões foram: umidade; cinzas; poder calorífico superior; poder calorífico inferior; análise elementar; capacidade de troca catiônica (CTC), e; rendimento gravimétrico. Os percentuais de umidade das biomassas foram de 12% e 8% para a casca verde e seca, respectivamente. A densidade da casca de coco verde apresenta o maior valor (242 Kg/m³). Os teores de extrativos encontrados (29,05% e 10,30%), para casca verde e seca corroboram com os encontrados na literatura, assim como os teores de lignina e celulose que foram 30,75 % e 41,79%; 24,37% e 29,68; para casca verde e seca, respectivamente. Para rendimento gravimétrico em biocarvão, a casca seca, à 450°, apresentou o maior valor. O biocarvão de coco verde a 450° apresentou maior densidade. O teor de cinzas dos biocarvões variou de 10 a 27%. A relação C/N se mostrou alta, entre 67,3 e 83. Ambos carvões produzidos apresentaram CTC efetiva acima de 50,1; o que influencia positivamente. Com as análises realizadas, o biocarvão obtido da casca seca a 450° mostrou-se o melhor entre os produzidos.

Palavras-chave: Biomassa. Resíduo agroindustrial. Rendimento gravimétrico.

ABSTRACT

The processing and consumption of coconut, dry or green, generates large amounts of waste that are often poorly managed. However, with the increase in technology aimed at the use of biomass, coconut shell can be an important raw material for the production of biochar. The processing and consumption of coconut, dry or green, generates large amounts of waste that are often poorly managed. However, with the increase in technology aimed at the use of biomass, coconut shell can be an important raw material for the production of biochar. Biochar is a carbon-rich product, obtained after a controlled pyrolysis process and has several applications. Thus, the general objective of this work was to produce biochar from dry coconut shell and green shell through controlled pyrolysis. The analyzes for the characterization of biocarbons were: moisture content; ash content; superior heating power; lower heating power; elementary analysis; cation exchange capacity (CTC), and; gravimetric yield. The moisture percentages of the biomasses were 12% and 8% for green and dry skin, respectively. The density of the green coconut shell has the highest value (242 Kg / m³). The levels of extractives found (29.05% and 10.30%) for green and dry skin corroborate those found in the literature, as well as the levels of lignin and cellulose, which were 30.75% and 41.79%; 24.37% and 29.68; for green and dry skin, respectively. For gravimetric yield in biochar, the dry bark, at 450 °, presented the highest value. The 450 ° green coconut biochar showed higher density. The ash content of biocarbons varied from 10 to 27%. The C / N ratio was high, between 67.3 and 83. Both coals produced had an effective CTC above 50.1; which influences positively. With the analyzes carried out, the biochar obtained from the dry shell at 450 ° proved to be the best among those produced.

Keywords: Biomass. Agro-industrial waste. Gravimetric yield.

Lista de Figuras

Figura 1: O coqueiro e seu fruto, o coco.....	16
Figura 2: Produtos resultantes do processo de pirólise.....	20
Figura 3: Biomassa de coco após coleta. A) Casca de coco verde. B) Casca de coco seca.....	26
Figura 4: Sistema de pirólise: A). Reator + condensadores; B) Cilindro de abastecimento de reator.....	32
Figura 5: Umidade do coco verde e do coco seco.....	34
Figura 6: Densidade básica das biomassas.....	35
Figura 7: Biocarvões produzidos a partir da casca de coco. A) Biocarvão da casca seca em temperatura final de 450° e 550°C, respectivamente. B) Biocarvão da casca verde em temperatura final de 450° e 550°C, respectivamente.....	40
Figura 8: Gráfico percentual de umidade dos biocarvões.....	41
Figura 9: Gráfico da densidade à granel dos biocarvões produzidos.....	42
Figura 10: teor de cinzas dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas.....	44

Lista de Tabelas

Tabela 1: Variáveis adotadas para a produção de biocarvões de casca de coco.....	31
Tabela 2: Valores médios da composição lignocelulósica das biomassas.....	35
Tabela 3: Análise dos componentes elementares das biomassas.....	37
Tabela 4: Poder calorífico médio (Kcal/Kg) das biomassas.....	37
Tabela 5: Rendimento gravimétrico dos produtos da pirólise da casca de coco: óleo (licor pirolenhoso), biocarvão e gases não condensáveis.....	38
Tabela 6: Poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) (Kcal/Kg) dos biocarvões produzidos a partir da casca de coco verde e seca.....	42
Tabela 7: Análise dos componentes elementares dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas.....	45
Tabela 8: Análise dos minerais com espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDX) dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas.....	45
Tabela 9: Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Geral	14
2.2 Específicos.....	14
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	15
3.1 A cultura do coqueiro	15
3.1.1 O coqueiro e o fruto.....	15
3.1.2 Os resíduos do coco	17
3.2 Pirólise	19
3.3 Biocarvão	21
3.4 Bio-óleo	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Coleta e preparo dos materiais	26
4.2 Caracterização da Biomassa	26
4.2.1 Umidade.....	27
4.2.2 Densidade	27
4.2.3 Teor de extrativos.....	27
4.2.4 Lignina.....	28
4.2.5 Celulose	28
4.2.6 Teor de cinzas.....	29
4.2.7 Análise elementar	29
4.2.8 Poder calorífico superior	30
4.2.9 Poder calorífico inferior	30
4.2.10 Espectroscopia de raios x por dispersão de energia	30
4.3 Produção dos biocarvões.....	30
4.4 Caracterização da pirólise e do biocarvão	32

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Características da biomassa	34
5.2	Caracterização dos Biocarvões	38
5.2.1	Rendimento	38
5.2.2	Características dos biocarvões	39
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

O coco (*Cocos nucifera* L.) é um produto que tem aumentado em produção nos últimos anos no Brasil. A partir de 1998, o coco passou a ter um crescimento em consumo de cerca de 20% ao ano, em 2018 o Brasil passou a ser o quinto maior produtor mundial do fruto (BANCO DO NORDESTE, 2018). No país, é notória a importância do agronegócio do coco para a economia nacional, principalmente para a região Nordeste que é a maior produtora do fruto com cerca de 82,9% da área e 74,0% da produção nacional. Segundo Brainer (2018), diferente do principal direcionamento dos maiores produtores mundiais, os cultivos brasileiros destinam-se à produção de coco seco in natura, coco ralado, leite de coco, óleo de coco e água de coco, sendo que desse último o país é o maior produtor (FAOSTAT, 2017). De modo que a crescente demanda por este último produto contribuiu com a expansão do coqueiro para outras regiões, influenciando o aumento da produção nas últimas décadas.

Dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) mostram que a produção de coco em Alagoas em 2018 foi de 77.488,7 toneladas, sendo a 7ª melhor do País. Segundo a Prococo, são 21.300 hectares plantados no estado, que pertencem a 2.300 produtores, e que faturaram cerca de R\$ 65,5 milhões de reais. Em área plantada Alagoas ocupa a 4ª posição nacional.

O alargamento da produção de coco trouxe consigo o aumento da quantidade de resíduos que são deixados no campo ou descartados de maneira imprópria, até por grandes indústrias que utilizam o coco como matéria-prima. O coco verde e o coco seco podem ser obtidos durante todos os meses do ano, não necessitando de uma estação definida para a colheita que é realizada normalmente em dois períodos de maturação, conforme sua finalidade ou mercado a que se destina. Em 2018, o Brasil colheu 2,3 milhões de toneladas de coco, sendo que cerca de 45% do que foi colhido tornou-se resíduos, sem destinação (BRAINER, 2018).

Com a falta de destino correto para o descarte dos resíduos gerados durante o processamento e o aumento da tecnologia voltada para a utilização de biomassa, a casca do coco pode ser uma importante matéria-prima para a produção do biocarvão ou biochar.

O biocarvão ou biochar é o nome dado a um tipo de carvão de uso agrícola, que consiste em um material de carbono poroso, que pode ser originado de diferentes fontes de biomassa (SILVEIRA, 2018) e é resultante da conversão térmica através da pirólise, tendo diversas finalidades, como por exemplo, o uso no solo como condicionante que eleva a fertilidade, a umidade e a qualidade do mesmo, além de servir como fonte de carbono para o solo.

Neste contexto, o biocarvão aponta para se tornar uma grande aposta dos setores agrícola e florestal, tendo em vista a necessidade de solos férteis e com boa qualidade para o plantio.

Segundo Silveira (2018), para a produção de biocarvão, a maior parte do carbono que está presente na biomassa é reutilizado, influenciando na redução dos gases de efeito estufa emitidos, aumentando a geração de energia e diminuindo a quantidade de resíduos, que muitas vezes são gerenciados de forma incorreta.

A utilização da biomassa para a produção do biocarvão, além de ser uma técnica sustentável e visionária, possibilita a diminuição dos resíduos de coco, que são descartadas de maneira inadequada, facilitando o manejo e descarte sustentável dos resíduos gerados para alta produção, além de fornecer uma segunda alternativa para aumentar a geração de renda ou para diminuir os gastos da indústria.

Deste modo, a casca do coco se mostra muito promissora para a produção de biocarvão e bio-óleo, visando suas qualidades e grande quantidade de resíduos gerados pelas indústrias e produtores de coco.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a influência da temperatura final de pirólise na qualidade do biocarvão.

2.2 Específicos

- Caracterizar a biomassa residual da casca de coco seca e verde para produção de biocarvão.
- Produzir biocarvão da casca de coco seca e verde através da pirólise controlada.
- Quantificar o rendimento da fração de biocarvão e do bio-óleo.
- Avaliar as características físico-químicas do biocarvão.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 A cultura do coqueiro

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é cultivado em cerca de 90 países que destinam o fruto, principalmente, para a produção de copra e óleo, principais derivados do coco comercializados no mercado internacional. Diferente do principal direcionamento dos maiores produtores mundiais, os cultivos brasileiros destinam-se à produção de coco seco *in natura*, coco ralado, leite de coco, óleo de coco e água de coco. A crescente demanda por este último produto contribuiu com a expansão do coqueiro para outras regiões e com o aumento da produtividade e produção nas últimas décadas (BRAINER, 2018).

No Brasil, a produção de coco está embasada em dois segmentos: (1) coco seco, destinado à indústria e (2) coco verde, destinado ao mercado da água de coco. Em geral, o coco seco usado para a produção de coco ralado provém da variedade Gigante, enquanto o coco verde, destinado para a produção de água de coco, é obtido da variedade anão e/ou híbrido, este último podendo ser destinado às duas finalidades. Quando os frutos se destinam ao mercado de coco seco, eles são colhidos com 11 ou 12 meses de idade, fase de plena maturação, em que o albúmen sólido se encontra totalmente formado. Quando são destinados ao mercado de coco verde, os frutos são colhidos ainda imaturos, entre o sexto e o sétimo mês de idade, quando se inicia a formação do albúmen sólido. No caso do fruto do coco seco, a amêndoa (albúmen sólido) é a que possui interesse comercial e, sendo assim, as cascas (mesocarpo) são retiradas e descartadas na própria área de cultivo. No caso do coco verde, os frutos são colhidos e transportados para os locais de comercialização ou para as unidades de envasamento para a retirada da água, sendo gerada grande quantidade de cascas (MARTINS; JESUS JÚNIOR, 2014).

3.1.1 O coqueiro e o fruto

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma frutífera bem disseminada pelo mundo, que pode ser encontrada em cerca de 90 países. É uma monocotiledônea, pertencente à família Palmae (FIGURA 1), que se originou no Sudeste Asiático (ANDRADE et al., 2004).

De acordo com Cabral (2015), inicialmente o coqueiro foi introduzido na ilha de Madagascar, atingiu a costa leste do continente africano, logo após a costa oeste em Cabo da Boa Esperança e de lá para as Américas e a área tropical terrestre. Inicialmente o plantio de coqueiro ocorreu na ilha de Madagascar, se expandindo para a costa leste do continente africano e costa oeste de Cabo da Esperança, posteriormente chegou às Américas e outras regiões tropicais (CABRAL, 2015).



Figura 1: O coqueiro e seu fruto, o coco, com suas partes constituintes. Acesso em: Outubro, 2019.(https://correiogourmand.com.br/info_03_dicionarios_gastronomicos_alimentos_frutas_coco.htm)

Além dos diferentes produtos derivados dos frutos do coqueiro, outras partes desta cultura podem ser aproveitadas. As folhas podem ser utilizadas como fibras de cordas, telhados, tapetes e redes, as cascas como ornamentação, das inflorescências das flores pode-se obter mel e açúcar e a biomassa pode ser aplicada para a geração de energia (SILVEIRA, 2018).

A casca do coco é um subproduto que corresponde a cerca de 80% do seu peso bruto, e que ao ser descartada incorretamente pode levar até oito anos para completa degradação. No estado de Alagoas a produção de coco é de aproximadamente 4,3% da nacional (IBGE, 2017). A biomassa do coco é rica em celulose, lignina e extrativos, logo se apresenta como uma boa opção para a produção de biocarvão.

3.1.2 Os resíduos do coco

O mercado do coco verde no Brasil tem crescido nos últimos anos, tanto pelo aumento de áreas de plantios com o coco anão verde destinado à produção de água, quanto pelo incremento do consumo da água de coco, impulsionados principalmente pela inclusão de hábitos saudáveis no comportamento da população. Contudo, o aumento da produção industrial e do consumo da água de coco geram problemas ambientais, em função da grande quantidade de cascas descartadas, as quais podem se tornar subprodutos com valor econômico, o que deve ser incentivado por todos os setores envolvidos com a atividade (BRAINER, 2018). Embora as cascas do coco possam ser aproveitadas para diversas finalidades como na fabricação de vasos, estofamentos e forramento interno de automóveis, mantas para contenção de encostas, palmilhas, divisórias, artesanatos, adubação orgânica, dentre outras, elas têm sido comumente descartadas nas próprias áreas de cultivo (coco seco) ou em áreas urbanas e/ou aterros sanitários (coco verde), constituindo-se em resíduos agrícolas com elevado impacto ambiental negativo.

Com o processamento de derivados a partir do coco seco e do coco verde, a casca aparece como resíduo, e por diversas vezes com pouco ou nenhum aproveitamento na indústria, sendo que com o aumento da procura por produtos oriundos do coco, milhares de toneladas de resíduos são gerados. O mal gerenciamento destes resíduos pode acarretar em diversos problemas ambientais, entre eles, o descarte irregular de coco verde em praias e área de lazer, além de fileiras de casca seca de coco deixadas no campo, após as amêndoas serem retiradas e levadas para a indústria de beneficiamento. Um material deixa de ser resíduo quando é utilizado na geração de novos produtos (coprodutos). Entre as possibilidades de aproveitamento das cascas de coco, podemos citar a produção de biocombustíveis sólidos.

O aproveitamento das cascas de coco como biocombustíveis sólidos para a geração de energia térmica seja in natura, na forma densificada (pellets e briquetes) ou de carvão vegetal, pode constituir-se numa excelente fonte alternativa de matéria-prima, em substituição aos combustíveis fósseis e também às outras fontes vegetais tradicionalmente exploradas, e que precisam ser preservadas, como a lenha e o carvão vegetal (MARAFON et al., 2019).

Cabral (2015) cita que a casca do coco verde representa cerca de 70% do lixo que é gerado nas praias do país, o que equivale em média a 85% do peso bruto do fruto, e que mesmo este resíduo sendo encaminhado, por diversas vezes para aterros, perde-se muito do seu potencial, pois como matéria orgânica tem alto potencial como emissor de gases do efeito estufa, além de ter alta vida no aterro, o que pode contribuir para a diminuição do tempo de vida do mesmo, graças a ocupação de espaço e tempo médio de decomposição (ANDRADE, 2004).

A vocação turística das cidades litorâneas do Brasil contribui com o alto consumo de coco verde, que por diversas vezes gera a deposição de montanhas de cocos, que após consumirem a água, são descartadas e tornam-se lixo, sem nenhuma função adicionada. Entretanto, quando os mesmos são descartados de forma correta e tem um destino ou reaproveitamento, estes ganham valor e tornam-se matéria prima com uma finalidade já determinada.

Os resíduos de coco verde podem ser explorados em processos agrícolas de diversas formas, visto que a partir da trituração da casca é possível obter um pó muito rico em potássio que pode substituir a turfa, que é prejudicial ao meio ambiente (AGRIZZI, 2018). Outra forma de aproveitamento do coco verde é seu uso na produção de substratos e adubos orgânicos, que substituem adubos químicos, não sendo prejudiciais ao lençol freático e nem aos rios (ANDRADE, 2004). Já o seu uso para queima pode ser inviável, pois apresentar alto teor de umidade, cerca de 80 a 85% (AGRIZZI, 2018).

Agrizzi (2018), mostra que os resíduos do coco maduro, que normalmente são deixados no campo e queimados visando a diminuição do montante, podem ter diversas finalidades a serem exploradas. O resíduo pode servir de combustível para as caldeiras, as fibras das cascas podem ser utilizadas na confecção de artesanato, o pó pode ser aplicado na agricultura como substrato para o cultivo agrícola, para isolamento térmico quando misturado com outros materiais. Castilho (2011) cita ainda outros usos como confecção de papel artesanal, adição em concreto não estrutural, fabricação de materiais compósitos, utilização em biofilmes em sistema de tratamentos de efluentes.

3.2 Pirólise

A pirólise é um processo de degradação térmica, de um sólido orgânico por meio de uma sequência de reações complexas, associadas a processos de transferência de calor e massa, em um ambiente livre ou com baixo teor de oxigênio e com a presença de um gás inerte (AGRIZZI, 2018).

A natureza da biomassa, temperatura, taxa e tempo de aquecimento alteram a composição de nutrientes do biocarvão. A partir diversos estudos, entende-se que o biocarvão produzido em temperaturas abaixo de 600°C possui maior rendimento, é facilmente degradado e tem maior aporte para ser usado atrelado ao condicionamento do solo.

Quando o biocarvão é produzido acima de 700° C, ou seja, em altas temperaturas, ele apresenta características recalcitrantes com agrupamentos aromáticos em sua estrutura e alta área superficial, características que aumentam a capacidade de adsorção de água e diminuem o rendimento de biocarvão no processo (GUARNIERI, 2016).

Segundo Silveira (2018), a temperatura e o tempo de residência da biomassa no reator determinam as concentrações de cada fase dos produtos finais da pirólise. Baixas temperaturas e longo tempo de residência produz mais biocarvão (parte sólida), já altas temperaturas e curto tempo de residência produz mais bio-óleo (parte líquida).

A pirólise surge como uma alternativa para agregar valor aos resíduos da cocoicultura que são descartados, agregando valor ao que antes eram tidos como resíduos e que podem passar a serem co-produtos.

Uma alternativa bastante viável de reaproveitamento das cascas de coco consiste na produção de biocarvão e bio-óleo, através da pirólise. Neste processo a matéria se decompõe em atmosfera inerte gerando gases não condensáveis, líquidos (bio-óleo) e resíduo sólido (carvão). Após resfriamento e condensação dos vapores, um líquido castanho escuro é formado, o qual é denominado de bio-óleo. Este por sua vez, consiste numa mistura complexa de várias classes de compostos como, por exemplo, cetonas, fenóis, aldeídos, hidrocarbonetos (MOHAN et al., 2006).

A pirólise (Figura 2) é um processo térmico de ambiente controlado para a formação de biocarvão, materiais condensáveis voláteis (ácido pirolenhoso e alcatrão) ou bio-óleo e produtos gasosos (ou seja, gases não condensáveis,

como H_2O , CH_4 , H_2 , CO_2 , CO). Estes bioprodutos têm valor comercial e materiais orgânicos importantes para uso agrícola, pois são uma alternativa aos combustíveis tradicionais e produtos químicos inorgânicos. O ácido pirolenhoso também chamado de extrato pirolenhoso, vinagre de madeira, fumaça líquida, óleo biológico, óleo líquido, óleo de pirólise ou destilado de madeira é um líquido orgânico condensado e altamente oxigenado bruto, que é um subproduto de pirólise da biomassa vegetal (GREWAL e al., 2018). Consiste principalmente em hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e naftênicos e outros compostos oxigenados, como álcoois, aldeídos, cetonas, furanos, ácidos, fenóis e éteres. O ácido pirolenhoso apresenta propriedades antioxidantes e eliminadoras e tem sido utilizado na agricultura como antimicrobiano inseticida e para a promoção da germinação de sementes e crescimento das plantas (GREWAL e al., 2018).

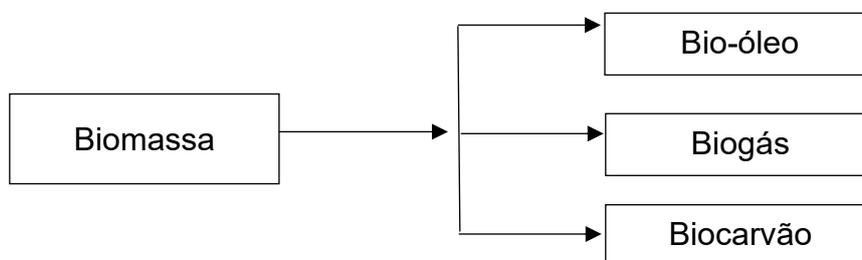


Figura 2: Produtos resultantes do processo de pirólise.

O processo de pirólise abrange várias fases de decomposição térmica. A primeira fase ocorre em temperaturas de até 150°C , este é o período em que acontece grande perda de água, devido à secagem da biomassa. Nesta etapa, também são eliminados ácidos fórmico e acético, e uma pequena quantidade de CO_2 (GUARNIERI, 2016). Entre 200°C e 400°C , ocorre a etapa de gaseificação, na qual há a liberação de CO , CO_2 e H_2 . Nessa etapa ocorre a decomposição das hemiceluloses e o início da degradação da celulose, liberação de voláteis e a formação da fase líquida formada por diferentes compostos orgânicos. A partir de 400°C ocorre a degradação total da celulose e permanecem os compostos aromáticos e, acima de 600°C , o teor de carbono aumenta, porém, a produtividade do carvão é reduzida, ocorrendo a liberação de energia e o consumo de 60% da fração da massa (BROWNSORT, 2009).

A qualidade do biocarvão e os diferentes usos atribuídos não dependem somente da natureza do material vegetal que dá origem ao biocarvão, mas está diretamente ligada ao próprio processo de pirólise (GUARNIERI, 2016). O efeito da temperatura de pirólise sobre o rendimento gravimétrico e a área superficial do biocarvão em diferentes fontes de biomassa e diferentes temperaturas e tempo de residência tem sido material de estudos.

A pirólise das cadeias de celulose gera principalmente aldeídos e cetonas de baixo peso molecular tais como, 5-hidroxi-metil-2-furaldeído e 1-hidroxi-propan-2-ona respectivamente. Outros compostos que também são gerados através de sua despolimerização são levoglucosano, levoglucosenona, furanos e furfurais. Os compostos oriundos da fragmentação das hemiceluloses são muito parecidos com aqueles da fragmentação da celulose. Pode-se citar ácidos, cetonas e aldeídos de baixa massa molecular tais como, ácido acético, 1-hidroxi-propan-2-ona e acetaldeído, respectivamente. Outras classes de compostos encontrados são piranonas, furanos e derivado de açúcares. A pirólise da lignina, por sua vez, produz uma elevada quantidade de fenóis. Dentre a grande diversidade de compostos fenólicos encontrados no bio-óleo pode-se citar os metóxi-fenóis, benzenodióis, alquilfenóis, metóxi-benzenos, etc (BISWAS e SHARMA, 2013). Os compostos majoritários encontrados por Tsai et. al (2006) em fibras de casca de coco foram: 1,2-benzenodiol (8,6%), fenol (7,8%), ácido acético (3,6%), 2,6-dimetóxi-fenol (2,8%) e 3- metil-1,2-benzenodiol (2,7%).

3.3 Biocarvão

O biocarvão ou biochar é qualquer material rico em carbono obtido de biomassa carbonizada sob pouco ou nenhum oxigênio, podendo ser utilizado de diversas formas, a principal é como condicionante e fertilizante para o solo, na qual diversas fontes de biomassa vegetal podem ser carbonizadas (MAIA, 2010).

A produção de carvão vegetal para seus diversos usos requer uma seleção cuidadosa das condições de biomassa e pirólise, especialmente temperatura, para garantir a qualidade adequada. A proporção relativa das fases sólida (carvão vegetal), gasosa e líquida (bio-óleo) varia em função da temperatura, do processo, do tipo de biomassa utilizado e do tipo de equipamento empregado (DIAS Jr. et al., 2019).

O uso de biocarvão (*biochar*) como condicionador de solo proporciona aumento da sua microporosidade com maior retenção de água e redução da perda de nutrientes minerais por lixiviação. Além disso, a aplicação de biocarvão pode constituir-se como uma alternativa ambientalmente sustentável e econômica para a recuperação de áreas contaminadas com metais pesados e compostos orgânicos das águas residuais. Paranavithana et al. (2016) constataram que o uso de biocarvões derivados da pirólise de cascas de coco, proporcionaram a remoção do Pb^{2+} (chumbo) do solo com eficiência entre 64 a 92%.

Quando a Amazônia é caracterizada, o solo é algo muito marcante por serem solos muito intemperizados, ácidos e de alta fertilidade. Cientistas descobriram, em meados da década de 1970, manchas escuras profundas de solo rico em carbono e com alta fertilidade, a conhecida terra preta de índio (VEIGA, 2016). Data-se que os povos indígenas foram os primeiros a utilizar o biocarvão no solo, muito se fala da boa qualidade dos solos amazônicos devido a presença do biochar.

Acredita-se que o ótimo desempenho agrícola dessa terra preta de índio se deu devido a presença de carvão e de demais substâncias geradas durante a combustão de resíduos agrícolas e florestais (VEIGA, 2016). Através da degradação lenta do carvão, o solo ganha maior retenção de água e outros atributos (SILVEIRA, 2018).

Sanroman et al. (2017) atestam a capacidade de diferentes biocarvões em absorver nutrientes como amônio, nitrato e fosfato, que os ativam através de alterações no solo melhorando suas propriedades físico-químicas. Além disso, também mencionam que recentes avanços na produção de biocarvões tem melhorado suas propriedades e ampliado seu uso em processos catalíticos, tratamento de água e esgoto ou outras aplicações emergentes.

Segundo Silveira (2018), a produção de biocarvão reutiliza totalmente o carbono existente na biomassa de origem, o que influencia positivamente para a geração de resíduos liberados no meio e mitiga a emissão de gases de efeito estufa que são gerados e lançados no meio durante a decomposição, isto porque com a pirólise todos os subprodutos (biocarvão, bio-óleo e biogás) podem ter um destino sustentável.

O biochar é o carvão vegetal produzido, exclusivamente, para utilização na agricultura, com o intuito de imobilizar carbono e melhorar as propriedades e ajudar o solo a recuperar suas funções (VEIGA, 2016).

Os biocarvões apresentam estrutura nas quais são encontrados predominantemente O, N, P e S como heteroátomos, incorporados dentro dos anéis aromáticos, pelo fato, principalmente, da sua diferença de eletronegatividade em relação aos átomos de carbono (VEIGA, 2016). A sua presença dá uma grande contribuição para a elevada heterogeneidade da superfície química e para a baixa reatividade do biocarvão, sendo um produto muito mais difícil de ser degradado do que muitas outras formas de matéria orgânica no solo, o que contribui para aumentar a retenção de água em solos tratados com biochar .

O biochar tem a capacidade de aumentar a retenção de água no solo, podendo assegurar a produção de diversas culturas, mesmo que elas estejam expostas a condições de estresse hídrico durante os períodos críticos do crescimento, podendo aumentar a permeabilidade da água no solo (GUARNIERI, 2016).

O biocarvão obtido a partir de biomassa pirolisada em ambiente fechado, com baixa ou nenhuma disponibilidade de oxigênio (O₂), é um material cuja concentração de carbono é de 70 a 80% (GUARNIERI, 2016). Além de apresentar alto teor de carbono e elevado poder calorífico superior, o biochar é poroso, apresenta elevado teor de cinzas e tem alta capacidade em reter água, o acréscimo pode ser de até 18%, aumenta a disponibilidade de nutrientes, melhorando o desenvolvimento das plantas (GUARNIERI, 2016).

3.4 Bio-óleo

O bio-óleo (alcatrão e ácido pirolenhoso) é o produto líquido derivado do processamento de biomassa através da pirólise e é uma mistura complexa de compostos orgânicos, composta predominantemente por fenóis, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos entre outros compostos. Apresenta baixa estabilidade, devido à reatividade dos compostos presentes no óleo podendo sofrer polimerização e condensação ao longo do tempo. Essas reações são favorecidas pelo aumento de temperatura e na presença de ar e luz, resultando em um aumento de viscosidade e separação de fases (MORAES et al., 2012).

Apresenta características distintas ao óleo combustível, possuindo alto teor de oxigênio (35-40%) e de água (15-30%), acidez e densidade elevada. Outro fator importante do bio-óleo é ele possuir baixo poder calorífico (4.060 Kcal/kg), representando cerca de 40% do óleo combustível (10.270 Kcal/kg) (CZERNIK & BRIDGWATER, 2004). Devido às características supracitadas, para ser utilizado, por exemplo, como combustível, insumo químico em resinas, fungicidas, aditivos para combustíveis necessita passar por alguns processos de *upgrading* (melhoramento de um determinado produto) (MURRY, 2016).

O extrato pirolenhoso produzido nas condições adequadas apresenta baixa toxidez, se destaca pelas características antioxidantes, características físicas e químicas, especialmente quanto ao conteúdo de substâncias que podem potencializar a eficiência de produtos fitossanitários e a absorção de nutrientes em pulverizações foliares, entre outras funções, a um custo menor com potencial quelatizante (CAMPOS, 2018)

O extrato pirolenhoso pode ser definido como um ácido carboxílico de mistura complexa, proveniente de compostos derivados de diversas reações químicas dos componentes da madeira ou de outra biomassa (celulose, hemicelulose, lignina, compostos fenólicos, entre outros), após aquecimento e condensação dos vapores gerados durante a pirólise, em ambiente livre de oxigênio (CAMPOS, 2018). Após a coleta, o extrato pirolenhoso deve ser deixado em um recipiente que deverá ser de vidro ou de plástico, em local fresco, ventilado e abrigado da luz, por um período de quatro a seis meses, para a estabilização da solução e a decantação das partículas sólidas. Após este período, o líquido separará em três camadas nitidamente distintas. A primeira camada (10%) predomina óleos vegetais e água, a segunda camada (60 a 75%) líquido pirolenhoso, a terceira camada (20-30%) predomina o alcatrão. O alcatrão, que é altamente poluente, contém componentes cancerígenos, como benzopirenos e outros. As técnicas de separação destes produtos são eficientes e, quando seguidas corretamente, permitem obter um produto de qualidade muito boa e livre de riscos. A presença de alcatrão no extrato pirolenhoso o torna muito tóxico e inviável para a utilização na agricultura; as impurezas devem ser eliminadas. Em casos de utilização em hortaliças e pulverização de frutos, recomenda-se proceder a destilação do extrato pirolenhoso bruto, para eliminar completamente o alcatrão e/ou outras toxinas que ainda poderão estar

presentes. Além do grande potencial de utilização na agricultura, tanto na forma natural quanto utilizado em novas formulações de insumos, o extrato pirolenhoso pode ser usado como aditivo de alimentos (fumaça líquida), no processo de compostagem, potencializar a eficiência de produtos fitossanitários e a absorção de nutrientes em pulverizações foliares (como potencial quelatizante), na desinfecção e esterilização de ambientes (CAMPOS, 2007).

Atualmente, o interesse pelo extrato pirolenhoso aumentou, devido ao fato de que sua constituição pode ser manipulada, no momento em que se altera as condições térmicas do processo ou através da utilização de catalisadores. Esse produto tem despertado interesse de diversas áreas, incluindo além da agrônômica e alimentos, a medicina e a farmácia com a possibilidade da extração e utilização de princípios ativos contidos nas plantas, e tinturaria (CAMPOS, 2018). Quanto ao uso industrial, o ácido pirolenhoso tem sido usado como fonte de aromas de fumaça por longa data tanto na indústria alimentícia, quanto em processos caseiros de conservação, incluindo as defumações para conservação de carnes e derivados (MOHAN et al., 2006).

O extrato pirolenhoso obtido da mistura de manjeriço com coco casca de coco e coco (fruto) em quantidade igual (1: 1: 1) produziu maior quantidade de atividade inseticida no controle de cupins, causadores de danos em madeiras e em joaninhas listradas, que por sua vez, causam danos em uma grande variedade de culturas, incluindo batata doce, mandioca e café e também pode transmitir vírus de plantas (WITITSIRI, 2011). Outros trabalhos apontam a eficiência do extrato pirolenhoso como produto natural na agricultura, incluindo o efeito sinérgico com a atividade inseticida (KIM et al., 2008).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta e preparo dos materiais

A casca de coco seco foi coletada em uma área de produção de coco seco, no município de São Miguel dos Milagres, Alagoas. A casca de coco verde foi coleta no município de Maceió, Alagoas, direto de revendedores de água de coco verde, nas praias do município (Figura 3).



Figura 3: Biomassa de coco após coleta. A) Casca de coco verde. B) Casca de coco seca.

Após a coleta, as cascas foram levadas para a Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento (UEP) em Rio Largo - AL, onde foram separadas. As cascas verdes foram cortadas com o auxílio de um facão e colocadas para secar ao sol, até atingir umidade de equilíbrio higroscópico, o que ocorreu sete dias após a disposição ao sol.

Para reduzir a umidade, as cascas secas e verdes de coco foram secas em estufa de circulação forçada de ar, a 60° C. Posteriormente, as amostras foram trituradas em moinho de facas, em seguida foram classificadas em um jogo de peneiras de 40 e 60 mesh. A biomassa utilizada para as análises químicas foi a que ficou retida na peneira de 60 mesh. Já para o processo de pirólise, as cascas foram utilizadas em pedaços com dimensões de 4x2 cm (comprimento x Largura).

4.2 Caracterização da Biomassa

A caracterização da biomassa ocorreu através das análises de umidade, densidade, teor de extrativos, teor de lignina, teor de celulose, teor de cinzas,

teor de hemiceluloses, poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) e análise da composição elementar.

4.2.1 Umidade

A umidade, base massa seca, foi determinada utilizando-se os métodos descritos na norma NBR 8112 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1982). O resultado foi obtido através da equação 1:

$$U (\%) = \frac{MI-MS}{MS} * 100 \quad \text{equação (1)}$$

Em que: U (%) = Teor de umidade percentual; MI = Massa inicial da amostra (g) e Ms = massa da amostra seca em estufa (g).

4.2.2 Densidade

A densidade foi obtida pelo método do máximo teor de umidade. A biomassa foi submetida ao processo de saturação em água. Para acelerar o processo de saturação, as amostras eram submetidas a um sistema de vácuo diariamente, durante alguns dias. Posteriormente, foi obtida a massa úmida do material, em seguida foi colocado em estufa à 105° C, até obter massa constante, para obtenção do peso seco.

Para a obtenção do resultado foi utilizada a equação 2:

$$\text{Densidade (g/cm}^3) = \frac{PU-PS}{PS} * 100 \quad \text{equação (2)}$$

Em que: Pu = peso úmido (g) e Ps = peso seco (g).

4.2.3 Teor de extrativos

A análise para determinar o teor de extrativos foi obtido através da metodologia de extração em Tolueno-etanol, descrita na NBR 14853 (ABNT, 1982).

O ensaio foi realizado em triplicata para cada tratamento. Para o cálculo dos extrativos, foi utilizada a equação 3:

$$\text{Ext (\%)} = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad \text{equação (3)}$$

Onde: Ext (%) = Teor de extrativos percentual; M_i = massa inicial de amostra seca e M_f = massa final.

4.2.4 Lignina

O ensaio para obtenção do teor de lignina seguiu o método utilizado para espécies de folhosas, podendo ser aplicado também para resíduos lignocelulósicos (ABTCP M70/71). Para o ensaio, foram pesadas amostras de 1 grama de matéria seca. As amostras foram depositadas em recipientes de vidro (Beckers e Elermeyers). Para cada amostra, foi utilizada a quantidade de 15mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 72% de concentração. As amostras permaneceram em banho-maria durante 2 horas, entre 25 e 30° C, sendo maceradas com o auxílio de bastões de vidro periodicamente. Posteriormente, as amostras foram submetidas à fervura, em 560 mL de água, durante 4 horas.

A filtração da lignina ocorreu por meio de cadinhos de vidro sintetizado, forrados com papel filtro, após resfriamento, por meio de bomba a vácuo, sendo os resíduos retirados com auxílio de água quente. Para o cálculo da lignina foi utilizada a equação 4:

$$\text{Lignina (\%)} = \frac{M_f}{M_i} * 100 \quad \text{equação (4)}$$

Em que: M_i = massa inicial e M_f = massa final.

4.2.5 Celulose

A celulose foi quantificada utilizando-se a metodologia de reação em ácido nítrico descrita por Abreu et al (2006), no manual de Métodos de Análise Química em Madeira do Laboratório de Química da Madeira do Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas da UFRRJ.

Foram pesadas amostras de 5g das biomassas, em triplicata, posteriormente as amostras foram submetidas a refluxo em solução aquosa de ácido nítrico a 25% durante 1 hora em extrator Soxhlet. A filtração das amostras ocorreu por

meio de bomba a vácuo, funil de Büchner e papel filtro previamente tarado. No ato da filtragem, foi utilizada água quente durante 30 minutos, em seguida foi utilizada solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 4% de concentração, durante 40 minutos. Adiante, foi lavada com água quente novamente, solução aquosa de ácido acético a 1% e água quente mais uma vez.

As amostras seguiram para a estufa à 105° C até obtenção de massa constante.

O teor de celulose foi calculado segundo a equação 5:

$$\text{Celulose (\%)} = \frac{M_f}{M_i} * 100 \quad \text{equação (5)}$$

Onde: Mi = massa inicial e Mf = massa final.

4.2.6 Teor de cinzas

Para a obtenção do teor de cinzas (minerais) seguiu-se a metodologia descrita na norma da ABNT, a NBR 13999 (ABNT, 2003), sendo utilizada a equação 6 para cálculo:

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{M_c}{M_i} * 100 \quad \text{equação (6)}$$

Onde: C = teor de cinzas, Mc = massa das cinzas e Mi = massa inicial (amostra seca).

4.2.7 Análise elementar

As amostras foram analisadas em um analisador elementar Thermo scientific CHNS Analyser no laboratório multi-usuário da UEP-Rio Largo da EMBRAPA Tabuleiro Costeiros, para verificar os teores de carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N). O oxigênio foi calculado pela diferença, como apresentado na equação 7:

$$\text{O (\%)} = 100 - (\text{C} + \text{H} + \text{N}) \quad \text{equação (7)}$$

Onde: O= teor de oxigênio; C=teor de carbono; H=teor de hidrogênio, N=teor de nitrogênio.

4.2.8 Poder calorífico superior

Para a determinação do poder calorífico foi utilizada a norma NBR 8633 da ABNT (ABNT, 1984) referente a materiais vegetais, mas que pode ser adaptada para qualquer combustível sólido. Para as análises utilizou-se uma bomba calorimétrica do modelo IKA C2000.

Inicialmente, as amostras foram pesadas e pastilhadas (originando pequenos blocos em formato de pastilhas), em seguida foram secas em estufa à 105° C e, posteriormente, analisadas no calorímetro. As análises foram realizadas em triplicata.

4.2.9 Poder calorífico inferior

O poder calorífico inferior foi obtido aplicando-se a equação 8, conforme descrito por Brant (2008).

$$PCI \text{ (Kcal/Kg)} = PCS - 5,72 * (9 * H + U) \quad \text{equação (8)}$$

Onde: PCS= Poder calorífico superior; H=Percentual de Hidrogênio, U= Teor de umidade.

4.2.10 Espectroscopia de raios x por dispersão de energia

As concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), cloro (Cl), sódio (Na) e ferro (Fe) dos biocarvões foram obtidas através da análise de espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDX), em aparelho Shimadzu 7000, no laboratório tecnano- UFAL.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) efetiva foi calculada através da equação 9:

$$CTC(5\%) = Ca + Mg + K + Al \quad \text{equação (9)}$$

Na qual: Ca= Cálcio, Mg=Magnésio, K=Potássio e Al=Alumínio.

4.3 Produção dos biocarvões

Os tratamentos adotados para a produção de biocarvões estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis adotadas para a produção de biocarvões de casca de coco

Biomassa	Temperatura (°C)	Código de identificação
Coco Verde	450	CV 450
	550	CV 550
Coco Seco	450	CS 450
	550	CS 550

Foram realizadas três pirólises para cada tratamento. A taxa de aquecimento foi fixada em 10° C por minuto e o tempo de residência foi de 60 minutos para todas as pirólises. Optou-se por estas temperaturas com base em levantamentos feitos na literatura que relatam que os componentes lignocelulósicos da biomassa são degradados na faixa entre 400° C e 550° C.

As dimensões médias unitárias dos cavacos eram de aproximadamente 4x2 cm (comprimento x Largura). As amostras, contendo 4% de umidade, foram colocadas no cilindro do reator (Figura 4 B) até completar o volume interno do mesmo. Antes de iniciar a pirólise, as amostras foram pesadas e recolocadas no reator, de modo que utilizaram-se diferentes massas para as diferentes biomassas. Para a pirólise da casca verde foram utilizadas 250 gramas da amostra. Para a casca seca, o peso variou entre 140 e 144 gramas, além do produto apresentar menor densidade, os pedaços necessitaram ser maiores, obtendo-se então maiores espaços vazios entre as partículas.

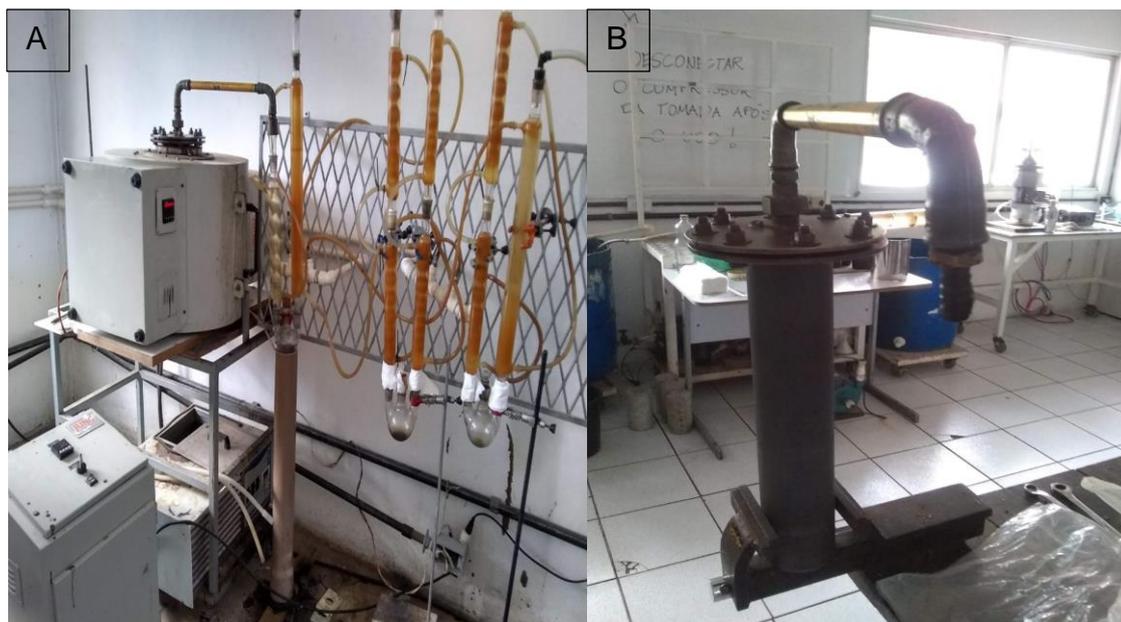


Figura 4: Sistema de pirólise: A). Reator + condensadores; B) Cilindro de abastecimento de reator.

4.4 Caracterização da pirólise e do biocarvão

As análises para caracterização dos biocarvões foram: teor de umidade, obtido após período de estabilização (15 dias após pirólises), conforme o item 4.2.1; Teor de cinzas, conforme descrito no item 4.2.6; Poder calorífico superior, conforme apresentado na seção 4.2.7; poder calorífico inferior, por 4.2.9; análise elementar, analisada conforme descrito em 4.2.8; capacidade de troca catiônica, que foi descrita em 4.2.10, e: rendimento gravimétrico.

Para a avaliação do rendimento gravimétrico do processo de pirólise os produtos voláteis foram condensados e recolhidos em balão de fundo redondo, para mensuração do percentual líquido (produtos condensáveis da pirólise), porém, os gases que não são condensáveis foram descartados para a atmosfera. Entretanto para a quantificação dos líquidos condensáveis devem ser consideradas possíveis perdas durante o processo.

Após a finalização do processo térmico, esperou-se o resfriamento dos reatores e, em seguida, o carvão foi retirado e pesado para obtenção do rendimento gravimétrico do mesmo. A análise gravimétrica do processo de pirólise quantificou os rendimentos do líquido, do sólido e dos gases, conforme as equações 10, 11 e 12, respectivamente.

$$\% \text{ Sólido} = \left(\frac{M \text{ sólido}}{M \text{ biomassa}} \right) * 100 \quad \text{equação (10)}$$

$$\% \text{ Líquido} = \left(\frac{M \text{ líquido}}{M \text{ biomassa}} \right) * 100 \quad \text{equação (11)}$$

$$\% \text{ Gases} = 100 - (\% \text{ Sólido} + \% \text{ Líquido}) \quad \text{equação (12)}$$

Também foi determinada a densidade à granel dos biocarvões. Para a análise, o material foi colocado em uma proveta de volume conhecido (100mL), até completar o volume, depois foi pesado em balança analítica de precisão (0,0001), descontando-se o peso da tara. A densidade à granel foi calculada de acordo com a equação 13.

$$\text{Densidade à granel} = \frac{M \text{ pesada}}{V} \quad \text{equação (13)}$$

Onde: M pesada = é a massa pesada de biocarvão e V= Volume completado da proveta.

4.5 Análise dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso (DIC), com arranjo fatorial 2x2, sendo os fatores as biomassas (casca de coco verde e casca de coco seca) e a temperatura final de pirólise (450°C e 550°C). As pirólises foram feitas em triplicata.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do Software estatístico Sisvar versão 5.6. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a um nível de 5% de probabilidade de erro ($p < 0.05$).

Partiu-se do princípio de que a hipótese de nulidade é a de que não há interação entre os fatores biomassa e temperatura final de pirólise e diferença significativa entre os tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características da biomassa

Os percentuais de umidade das biomassas foram de 12% e 8% para casca verde e seca (Figura 5), respectivamente. Esta variação pode estar relacionada aos teores de extrativos que estão presentes na casca verde e contribuem para uma maior afinidade com a água (VEIGA, 2016).

Ambas biomassas apresentaram valores médios dentro da faixa recomendada para pirólise, que é de 8% a 12% (VEIGA, 2016). Materiais com umidade acima de 12% representam perdas, em peso, quando o produto é aquecido de forma gradual, sendo que isto já ocorre nos primeiros 200° C durante o processo e é irreversível. Outros elementos são perdidos durante esse processo de secagem. O poder calorífico de um combustível tem influência direta da umidade no mesmo, visto que quanto maior a umidade, menor o poder de combustão, pois durante o processo de evaporação da água contida ocorrerá consumo de energia.

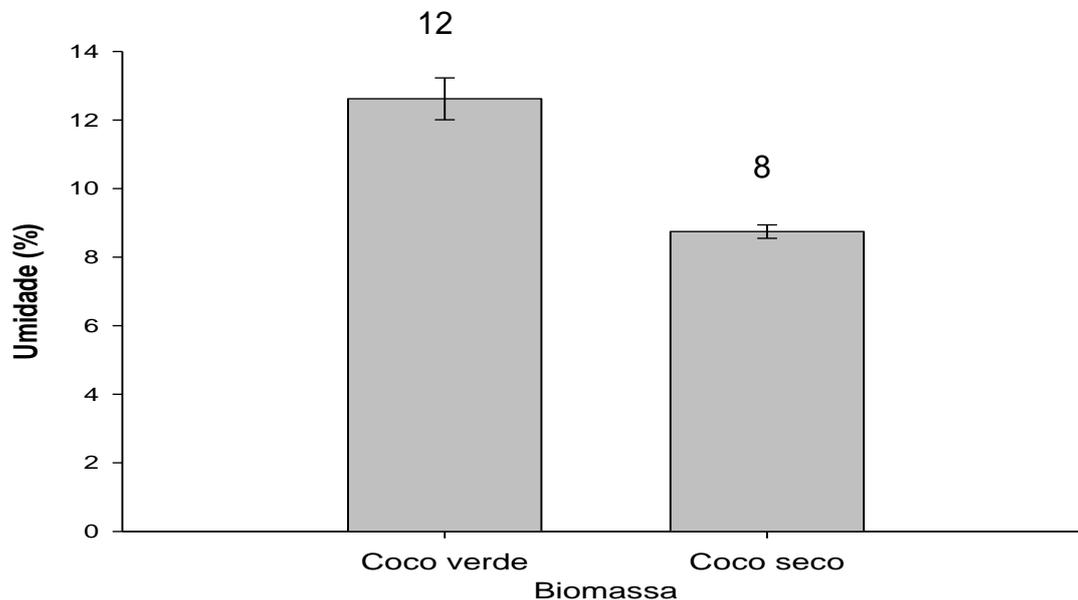


Figura 5: Umidade do coco verde e do coco seco

Quanto à densidade, a casca de coco verde apresentou o maior valor (242 Kg/m³) em relação à casca de coco seca (137,5 Kg/m³), isso mostra que esta biomassa contém mais componentes lignocelulósicos por unidade de volume, e

isto é importante, visto que se faz necessário observar a viabilidade econômica para utilização da mesma como matéria prima, pois fatores como custo de transportes são essenciais. Os resultados obtidos para a casca seca ($137,5 \text{ Kg/m}^3$) corroboram com os estudos de Paz et al. (2018), que descrevem que o maior valor encontrado para a mesma foi de 158 Kg/m^3 para o coco seco.

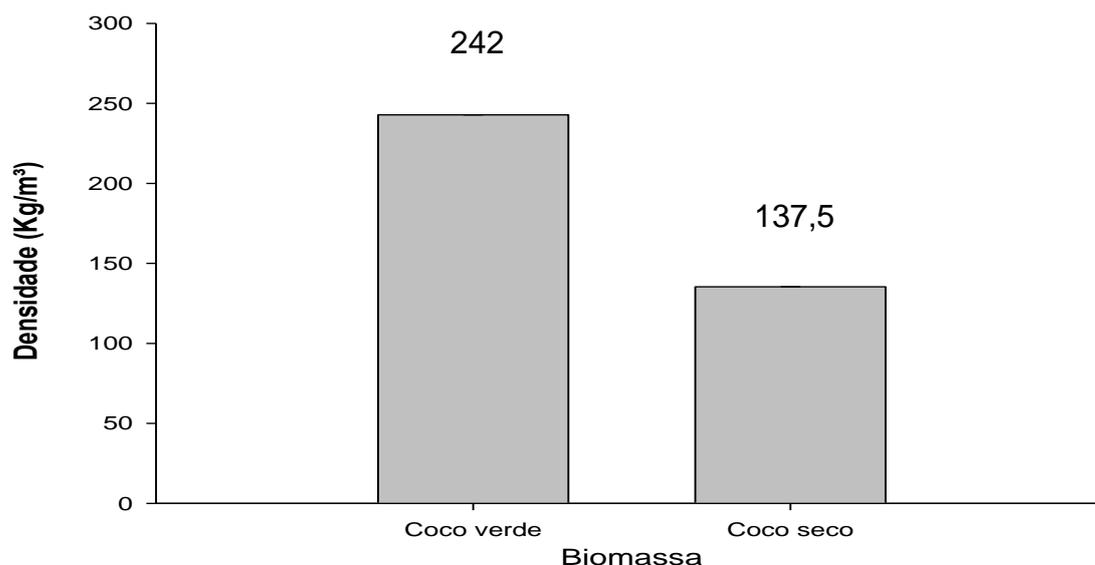


Figura 6: Densidade básica das biomassas.

A caracterização química da biomassa *in natura*, com os valores médios dos constituintes lignocelulósicos, ou seja, os teores de extrativos, lignina, celulose, cinzas e hemiceluloses, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios da composição lignocelulósica das biomassas

Biomassa	Extrativos (%)	Lignina (%)	Celulose (%)	Cinzas (%)	Hemiceluloses (%)
Casca Verde	29,1	30,7	24,4	7,3	8,5
Casca Seca	10,3	41,8	29,7	4,4	13,8

Os teores de extrativos encontrados de 29,1% e 10,3%, para casca verde e seca, respectivamente, corroboram com os encontrados por Cardoso e Gonzalez (2016) que foi de 33,68% para a casca verde, e Rampazzo (2011),

que encontrou 9,76% para a casca seca. Corradini et al. (2009) obtiveram 35% de extrativos para o coco verde e 28% para o coco seco.

Segundo Cardoso e Gonzalez (2016), o valor elevado de extrativos para a casca de coco verde ocorre devido às partes do fruto que são utilizadas, se são só fibras ou a casca completa. Estudos que analisam apenas as fibras tendem a apresentar valores menores para extrativos. Outro fator que pode afetar esta característica é a variedade genética, pois cocos utilizados para o consumo verde tendem a ter em sua composição química maiores teores de extrativos. Ainda, segundo Guarnieri (2016), o elevado teor de extrativos da casca verde é devido à presença de alguns sais minerais inorgânicos e polissacarídeos na biomassa verde. Este valor pode diminuir com o tempo de estocagem e com a redução da umidade, como é possível observar na casca seca.

Os teores de lignina encontrados para a casca verde, de 30,8 %, e para a casca seca, de 41,8%, são elevados. Isso mostra que estas biomassas apresentam alta durabilidade e boa resistência quando comparadas à outros materiais lignocelulósicos. Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com os valores obtidos por Corradini et al. (2009), que obtiveram 37% de teor de lignina para a cultivar verde e cerca de 39% para a casca de coco seco, segundo o mesmo, o teor varia entre 27 e 45% em cultivares de coco.

Quanto aos teores de celulose, a casca verde apresentou 24,4% e a seca 29,7%, o que mostra que, além da produção de biocarvão, esta biomassa tem potencial para aplicações em outros processos, como exemplo, o etanol de segunda geração.

A relação celulose:lignina influencia o poder calorífico dos materiais, visto que a celulose apresenta menor PCI ($4.132 \text{ kcal kg}^{-1}$) do que a lignina ($6.377 \text{ kcal kg}^{-1}$), tendo em vista o seu maior grau de oxidação (JENKINS et al., 1998).

Para os valores obtidos de hemiceluloses é possível observar que estão dentro do esperado na literatura, foram obtidos 8,5% para a casca verde e 13,8% para a casca seca. Sendo que Schena (2015) cita que para a casca verde os valores oscilam entre 3 e 12% e Paz et al. (2018) obteve 11,2% para a casca seca.

A análise elementar consiste da determinação dos elementos que constituem uma amostra de matéria orgânica e qual a quantidade presente

desses elementos. Paz et al. (2018) citam que os valores obtidos na análise elementar podem variar de acordo com a variedade genética, o local do plantio e o grau de maturação do fruto utilizado.

A análise elementar da biomassa está apresentada na tabela 3. O alto teor de Oxigênio não é ideal para biomassas utilizadas para a produção de biocarvão, pois quanto maior a concentração de oxigênio elementar na composição da biomassa, menor é o PCS. Entretanto, o oxigênio é necessário na biomassa, pois é ele que gera energia para a combustão da matéria.

Quanto a relação C:N, a casca verde apresentou 36,6 e a seca 85,3. Uma relação acima de 15 é considerada elevada e, quanto mais elevada, maior a facilidade de liberação de energia devido a maior presença de carbono.

Tabela 3: Análise dos componentes elementares das biomassas.

Biomassa	Nitrogênio (%)	Carbono (%)	Hidrogênio (%)	Oxigênio (%)
Casca Verde	1,22	44,70	5,84	48,24
Casca Seca	0,77	46,07	5,12	48,05

O poder calorífico é a quantidade de calor desprendida durante a combustão do material, logo, na Tabela 4 é possível observar que a casca de coco seca apresenta maior poder calorífico. Entretanto, ambos os carvões apresentam potencial de uso agrícola, ou seja, para condicionamento de solo, visando estoque de carbono e melhorando a capacidade de troca catiônica do mesmo.

Tabela 4: Poder calorífico médio (Kcal.Kg⁻¹) das biomassas.

Biomassa	PCS (Kcal.Kg⁻¹)	PCI (Kcal.Kg⁻¹)
Casca Verde	4539	4224
Casca Seca	4594	4317

PCS: Poder Calorífico superior; PCI: Poder Calorífico inferior.

Quanto a relação PCS/carbono elementar, para a casca verde o valor foi de 101,5, já para a casca seca, o valor foi de 99,7. A importância desta

característica para o biocarvão é que, quanto maior o valor do PCS, maior será a quantidade de carbono elementar presente na biomassa, aumentando a quantidade de energia que será liberada no solo (PAZ et al., 2018).

Comparando os resultados da análise elementar da casca de coco com os carvões produzidos observamos aumentos nos teores de carbono fixo com o aumento da temperatura e, por consequência, incrementos no poder calorífico. Estas alterações são explicadas pela volatilização e degradação de constituintes da casca de coco devido ao aumento da temperatura de pirólise resultando em perda de massa. Padilla et al. (2018) também observaram que a temperatura final de pirólise de cascas de coco verde foi o parâmetro que mais influenciou no teor de carbono fixo e no rendimento gravimétrico.

5.2 Caracterização dos Biocarvões

5.2.1 Rendimento

A Tabela 5 apresenta os resultados dos rendimentos percentuais encontrados de bio-óleo (condensáveis), carvão e gases não condensáveis obtidos com as pirólises realizadas, com a umidade da biomassa a 4%.

Tabela 5: Rendimento gravimétrico dos produtos da pirólise da casca de coco: bio-óleo (condensáveis), biocarvão e gases não condensáveis.

Biomassa	Temperatura (° C)	RD Óleo (%)	RD Biocarvão (%)	RD Gás (%)
Casca verde	450	34,7 Ab	36,5 Ba	28,7 Aa
	550	40,4 Aa	34,1 Bb	25,5 Aa
Casca seca	450	6,4 Bb	74,9 Aa	18,7 Aa
	550	24,3 Ba	53,8 Ab	21,9 Aa

Letras diferentes, na coluna, apresentam diferença estatística significativa ao nível de 0,05% de confiança pelo Teste de Tukey. Letras Maiúsculas representam a biomassa e minúsculas as temperaturas. RD=rendimento.

A casca seca apresentou o maior rendimento para biocarvão, sendo que a pirolisada a 450° foi a maior entre todas. Ocorreu interação entre biomassas e temperaturas finais dos processos, ou seja, a temperatura influenciou no rendimento das partes sólidas, líquidas e gasosas das biomassas. Ambas as

cascas apresentaram diferenças significativas entre as mudanças de temperatura final, ou seja, a temperatura final do processo de pirólise interfere diretamente nas quantidades de produtos finais obtidas. E entre as biomassas também ocorreu diferença significativa, ou seja, o tipo de biomassa determina diferentes rendimentos para os biocarvões obtidos.

Conforme a temperatura aumentou, o rendimento de carvão obtido diminuiu. Segundo Maia et al. (2013), com o aumento da temperatura final de pirólise é possível observar a diminuição no rendimento de biocarvão, e isto corrobora com os valores obtidos.

Schena (2015) avaliou os rendimentos da pirólise de fibras de cascas de coco verde à 600 e 700 °C e obteve, para cada temperatura, valores de 43 e 33,8% para bio-óleo, 23 e 25,2% para biocarvão de 34 e 41% para gases não condensáveis, respectivamente. De acordo com o autor, a maior produção de gases não condensáveis na temperatura de 700°C poderia ser explicada pelo aumento no craqueamento da biomassa provocado pela maior temperatura de pirólise.

O bio-óleo obteve maior rendimento para a casca verde a 550° C com 40,4%; sendo possível observar que ocorreram diferenças significativas entre as biomassas e entre as temperaturas dos processos. O valor encontrado está dentro do esperado na literatura,

5.2.2 Características dos biocarvões

Foram produzidos quatro tipos de biocarvões diferentes como mostra a figura 7. O biocarvão produzido a partir da casca de coco seca, em 450° C, foi o que apresentou maior friabilidade (facilidade de quebra).

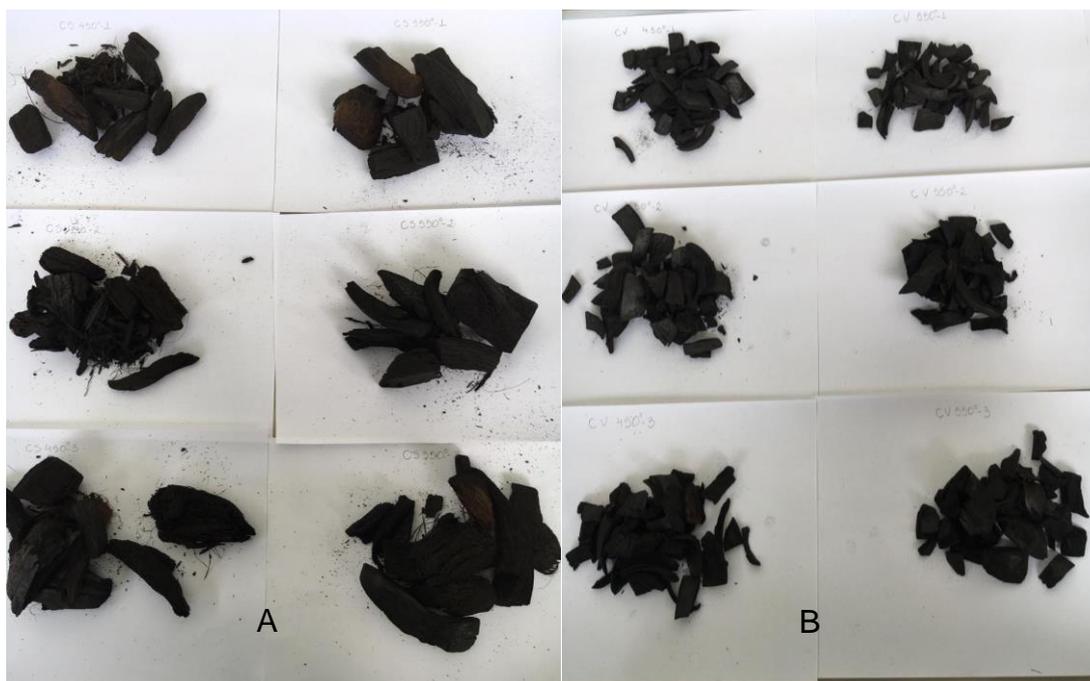


Figura 7: Biocarvões produzidos a partir da casca de coco. A) Biocarvão da casca seca em temperatura final de 450° e 550°C, respectivamente. B) Biocarvão da casca verde em temperatura final de 450° e 550°C, respectivamente.

A partir da figura 8 é possível observar que ocorreu interação significativa entre biomassas e temperaturas, e que foi significativo entre as biomassas. Mas para a casca de coco seco não houve significância entre as temperaturas, internamente. A umidade do biocarvão de casca do coco seca se apresentou menor, tendo em vista que a biomassa perdeu durante o processo de pirólise a maior parte de seus voláteis que eram responsáveis por manter a interação com água no interior da partícula.

Os valores obtidos para a umidade do carvão estão dentro do intervalo esperado (8 a 12%), segundo Veiga (2016), quanto menor o percentual de umidade do biocarvão, melhor será para transporte, visto que será transportado matéria e não água, e quando utilizado no solo, a capacidade para retenção de água no mesmo se mostra elevada.

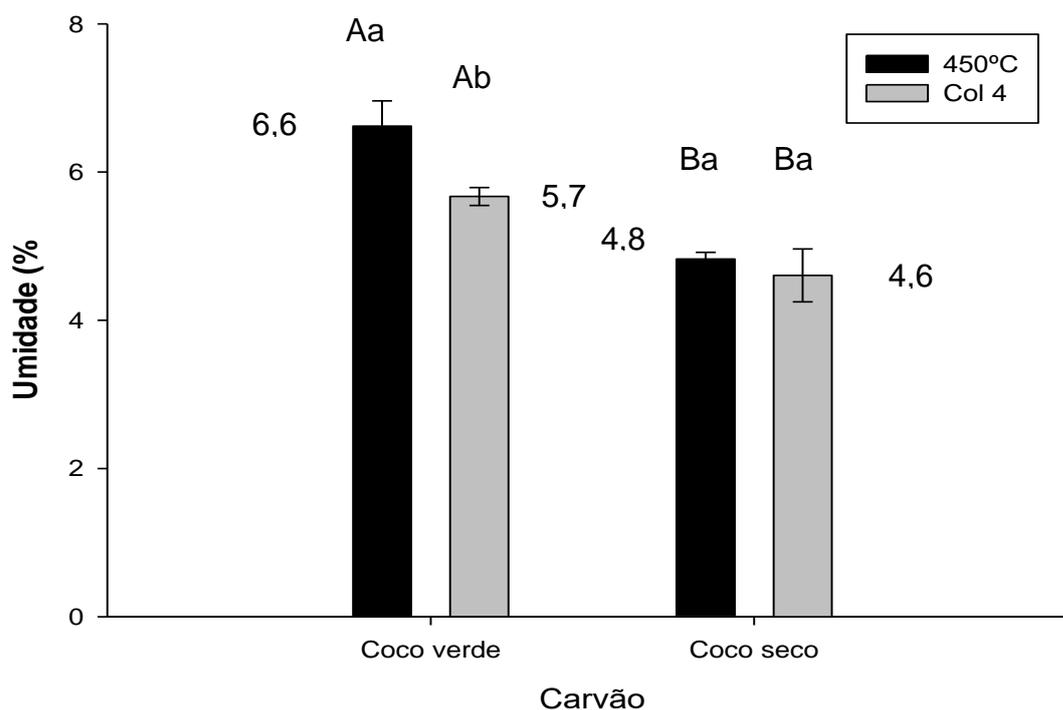


Figura 8: Percentual de umidade dos biocarvões. Médias seguidas por letras iguais não apresenta significância a 0,05% pelo Teste de Tukey.

A figura 9 mostra os valores de densidade à granel dos biocarvões. É possível observar que não houve influência da temperatura na densidade final dos biocarvões, mas que ocorreu diferença estatística entre as biomassas, tendo em vista que a biomassa do coco verde obteve maior densidade que a do seco.

Quanto maior a densidade do biocarvão, maior a capacidade de retenção de água no solo, contribuindo para a viabilidade de microrganismos em solos degradados e em estado de recuperação (PAZ et al., 2018). Assim, dos quatro biocarvões produzidos, o carvão de casca verde, à 450° C, apresenta-se como o melhor para esta característica observada.

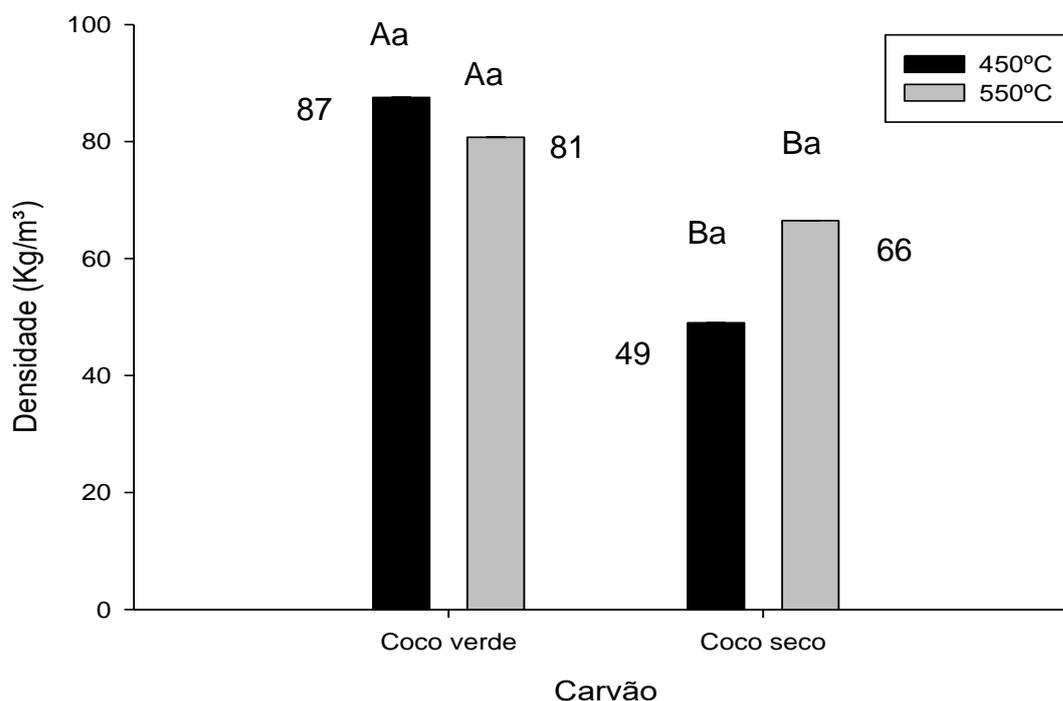


Figura 9: Densidade à granel dos biocarvões produzidos. Médias seguidas por letras iguais não apresenta significância a 0, 05% pelo Teste de Tukey.

De acordo com a tabela 6 é possível observar que não houve diferença significativa entre os resultados obtidos, e não houve interação entre a biomassa e as temperaturas. Entretanto, os valores observados mostram que os diferentes tipos de biocarvões produzidos têm alta capacidade de liberação de energia e, conseqüentemente alta quantidade de carbono. Com os valores obtidos é possível observar que os biocarvões produzidos a 450 °C apresentam valores maiores para poder calorífico superior. Os valores próximos entre PCS e PCI se dá pela quantidade próximas do teor de hidrogênio presente em ambos.

Tabela 6: Poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) (Kcal.Kg⁻¹) dos biocarvões produzidos a partir da casca de coco verde e seca.

Carvão	PCS		PCI	
	450° C	550° C	450° C	550° C
	----- Kcal.Kg ⁻¹ -----			
Casca Verde	6363,7 Aa	6225,0 Aa	6209,6 Aa	6115,2 Aa
Casca Seca	6312,3 Aa	6363,0 Aa	6152,2 Aa	6219,1 Aa

Médias seguidas por letras iguais não apresenta significância a 0, 05% pelo Teste de Tukey.

A tabela 6 mostra ainda que houve incremento em poder calorífico superior e inferior após o processo de pirólise. É possível observar que para o poder calorífico superior o acréscimo foi de 40,2 e 37,1% e 37,4 e 38,5%, para a casca verde e seca a 450 °C e 550 °C, respectivamente. Para o poder calorífico inferior o aumento foi de 47,0 e 44,8%, 42,5 e 44,1%, respectivamente, para a casca verde e seca a 450 °C e 550 °C. Este resultado comprova que o processo de pirólise serve para aumentar e condensar a capacidade de liberação de energia e juntamente alargar a quantidade de carbono existente.

A figura 10 apresenta os resultados obtidos para o teor de cinzas dos biocarvões da casca seca, que obteve 10% e 11%, e a casca verde, com 27% e 22 %, a 450 C° e 550 C°, respectivamente. A análise estatística mostra que houve diferença significativa entre as biomassas e internamente entre as temperaturas, e que observou-se interação significativa entre os fatores observados.

Maia et al. (2013) encontraram valores próximos (10,4 e 12,6%, respectivamente para 450 °C e 550 °C) aos apresentados, para a cascas seca. Observa-se que as biomassas *in natura* apresentam valores menores para o teor de cinzas (7,27% e 4,36%) para as cascas verde e seca, respectivamente, que os biocarvões produzidos. Segundo Padilha et al. (2018) isso se dá pois os materiais voláteis foram removidos durante a pirólise, o que aumenta a fração proporcional de elementos minerais que não são volatilizados na distribuição dos constituintes nos biocarvões.

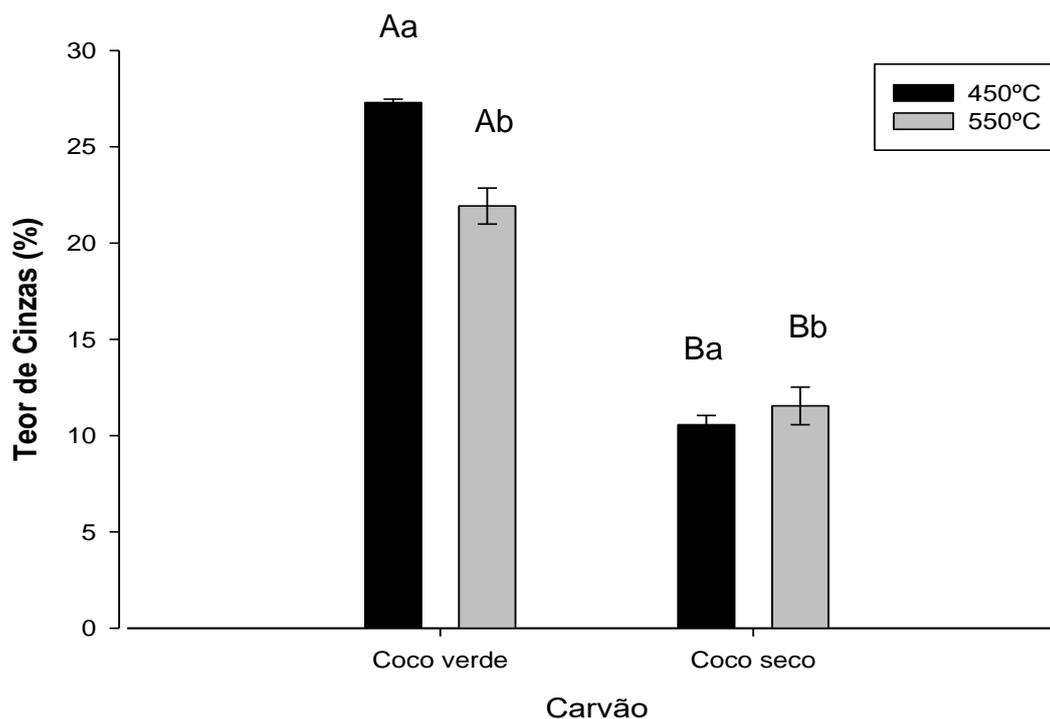


Figura 10: Teores de cinzas dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas. Médias seguidas por letras iguais não apresenta significância a 0, 05% pelo Teste de Tukey.

A tabela 7 apresenta os resultados da análise elementar dos biocarvões. Não houve diferenças estatísticas significativas entre os diferentes tratamentos para os teores de N, C, H e O. Para a relação C/N, o biocarvão feito da casca de coco seca apresentou maior valor para carbono elementar, entretanto, não apresentou diferença estatística entre os mesmos. Quanto à quantidade de oxigênio elementar encontrada, ela se mostrou satisfatória, pois corroborou com dados encontrados na literatura, além de estarem dentro do esperado para biocarvão, segundo Guarnieri (2016).

A relação C/N se mostrou alta, o que influencia positivamente na capacidade de liberação de carbono para o solo, mostrando que os biocarvões produzidos são capazes de manter ou recuperar o condicionamento do solo. A análise estatística mostra que houve diferença significativa entre as temperaturas finais do processo de pirólise, que a diferença entre o biocarvão da casca verde a 550 °C e o biocarvão da casca seca 450 °C foi de 15,7; isto implica em maiores quantidades de carbono no último tipo de biocarvão citado.

Tabela 7: Análise dos componentes elementares dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas.

Carvão	T °C	N (%)	C (%)	H (%)	O (%)	Relação C:N
Casca Verde	550	1,1 Aa	69,9 Aa	2,1 Aa	26,8 Aa	67,3 Aa
Casca Verde	450	1,0 Aa	69,7 Aa	3,0 Aa	26,3 Aa	75,3 Ab
Casca Seca	550	1,1 Aa	73,7 Aa	2,8 Aa	22,4 Aa	72,2 Ab
Casca Seca	450	0,9 Aa	71,5 Aa	3,1 Aa	24,5 Aa	83,0 Ac

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não apresenta significância a 0,05% pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas representam as biomassas, as minúsculas as diferentes temperaturas.

A tabela 8 mostra os resultados da análise química dos minerais com espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDX) dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas. Os resultados estatísticos mostram que não houve diferença significativa entre os carvões produzidos nos parâmetros avaliados.

Tabela 8: Análise dos minerais com espectroscopia de raios X por dispersão de energia (EDX) dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas.

CARVÃO	T° C	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Al (%)	Cl (%)	Na (%)	Fe (%)
Casca verde	550	8,2 Aa	1,9 Aa	53,5 Aa	0	19,9 Aa	11,4 Aa	0,2 Aa
Casca verde	450	7,5 Aa	1,9 Aa	53,3 Aa	0	17,9 Aa	11,6Aa	0,8 Aa
Casca seca	550	5,2 Aa	0,9 Aa	49,6 Aa	1,3	25,0 Aa	14,1 Aa	0,1 Aa
Casca seca	450	6,5 Aa	1,5 Aa	53,8 Aa	7,7	21,0 Aa	14,1 Aa	9,5 Aa

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não apresenta significância a 0, 05% pelo teste de Tukey.

Houveram consideráveis aumentos nos teores de carbonos observados nos biocarvões obtidos da casca de coco verde (69,9 e 69,7%) e seco (73,7 e 71,5%) em relação aos teores originalmente observados antes do processo de

pirólise (44,7% para a casca de coco verde e 46,07% para a casca de coco seca), os quais foram verificados na Tabela 3.

Pode-se observar ainda que os biocarvões produzidos a partir da casca verde não apresentam em sua composição o alumínio, isto pode ocorrer pois durante o processo de maturação a planta pode absorvê-lo do solo.

Os resultados encontrados corroboram com os de Guarnieri (2016), que obteve valores na mesma faixa de média dos obtidos nesse trabalho. Com a introdução do biocarvão ao solo, nutrientes essenciais às plantas podem ser obtidos, visto que é possível que ele os tenha em sua composição.

Ainda na tabela 8 observa-se a existência de elementos essenciais para a sobrevivência dos vegetais na composição química dos biocarvões e quanto é possível adicionar ao solo com a utilização de biocarvão produzidos através das cascas de coco.

O potássio (K) é o segundo elemento mais requerido pelos vegetais no solo, requer de 2 a 5% da matéria seca, sendo que é o cátion mais abundante nas plantas, responsável por diversas funções como o movimento estomático, a fotossíntese e a translocação de solutos, ativação enzimáticas entre outras. Os fertilizantes produzidos na indústria visam dar grande aporte de potássio, entretanto, necessitam da presença de cálcio e magnésio para ser absorvido. Os biocarvões obtiveram valores próximos para a quantidade de potássio.

Ainda é possível observar que cálcio e o magnésio estão presentes em níveis esperados, de 4,0 a 15% para cálcio e, para magnésio valores até 6%. O cálcio auxilia na disponibilidade de micronutrientes para as plantas, além de diminuir a toxidez de alumínio, cobre e manganês quando absorvidos, enquanto que o magnésio é um componente essencial da clorofila, componente ativo do metabolismo do nitrogênio e contribui para absorção do fósforo.

Ainda segundo Guarnieri (2016), o principal fator que determina o aumento da fertilidade dos solos em que o biocarvão é utilizado como biochar é o incremento da CTC do mesmo, promovendo maior retenção dos cátions e do fósforo em consequência a diminuição dos processos de lixiviação dos nutrientes.

A CTC efetiva (tabela 9) se dá pela soma dos cátions que podem ser efetivamente trocados (Ca, Mg, K e Al). Não houve diferença estatística significativa entre os biocarvões produzidos nos parâmetros avaliados,

entretanto todos se mantiveram superiores a 50,1%, como é possível observar na tabela 9.

Um fator que interfere diretamente a CTC é a natureza dos cátions trocáveis e a concentração dos mesmos no solo. CTCs acima de 50,1 são tidas como muito alta, ou seja, o nível de troca do biocarvão é tido como excelente, pois irá viabilizar as características físicas do solo, influenciar positivamente na capacidade de retenção do solo, além de contribuir para a correção do pH.

Tabela 9: Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) dos biocarvões de casca de coco em diferentes temperaturas.

Carvão	Temperatura	
	450° C	550° C
Casca Verde	62,6 Aa	63,6 Aa
Casca Seca	64,4 Aa	56,6 Aa

Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não apresenta significância a 0, 05% pelo teste de Tukey.

6 CONCLUSÃO

A pirólise de cascas de coco verde e seco é um processo promissor de produção de biocarvão e bio-óleo, cujos produtos podem ter valor comercial sendo utilizados para uso agrícola ou outros. O biocarvão pode ser utilizado como condicionador de solo e o extrato pirolenhoso contido no bio-óleo como um produto fitossanitário. O processo de pirólise das cascas de coco verde e seco proporciona aumento no teor de carbono e no poder calorífico dos materiais.

O biocarvão se mostra como uma aposta para o condicionamento e para a recuperação de solos. Sua produção necessita que algumas variáveis sejam observadas para que a mesma seja viável, entretanto, quando tomadas a quantidade e a qualidade dos biocarvões se mostram satisfatórias e produtivas.

Com a utilização desse tipo de biomassa é possível obter ganhos sociais, econômicos e principalmente ambientais, tendo em vista que a produção de biocarvão pode vir a se tornar uma fonte de renda para pequenos e médios agricultores que trabalham com a cultura do coco, gerando uma renda a mais para as famílias e, principalmente ocorrerá a diminuição de resíduos não tratados.

Os biocarvões produzidos atendem as necessidades esperadas e apresentam características importantes para o condicionamento do solo. Embora todos os tratamentos testados neste estudo tenham sido satisfatórios, o biocarvão obtido da casca seca a 450 °C mostrou-se o melhor entre os produzidos. Obteve rendimento gravimétrico maior que os observados na literatura, além de que a temperatura final influencia na quantidade e na qualidade final dos biocarvões.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A.M.; PASSOS, P.R.A.; MARQUES, L;G.C.; OLIVEIRA, L.B.; VIDAURRE, G.P.; ROCHA, J.D.S. **Pirólise de resíduos de coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal**. Revista *Árvore*, v.28, n.5, p.707-714, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP) (1974). **M70/71: Métodos de ensaio**, São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7190. Projeto de estruturas de madeira. Anexo B - Determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853: madeira – determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona**. Rio de Janeiro, 2010. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: Carvão vegetal - Análise imediata - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1986. 3 p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1984. 13 p
- BISWAS, S.; SHARMA, D.K. **Co-cracking of jatropha oil, vacuum residue and HDPE and characterization of liquid, gaseous and char products obtained**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 101, p. 17-27, 2013.
- BRAINER, M.S.C.P. **Produção de coco: o nordeste é destaque nacional**. Caderno Setorial ETENE - Banco do Nordeste. Ano 3, n. 61, 2018.
- BROWNSORT, P. **Biomass pyrolysis processes: performance parameters and their influence on biochar system benefits**. 2009. 84 p Dissertação (Mestrado em Ciências) University of Edinburgh, Edinburgh.

CABRAL, M.M.S. **Aproveitamento da casca de coco verde para a produção de etanol de segunda geração**. 2015. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

CAMPOS, A.D. **Informação Técnica sobre Extrato Pirolenhoso**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 9p., 2018 (Circular Técnica, 177).

CARDOSO, M. S.; GONÇALEZ, J. C. **Aproveitamento da casca do coco-verde (*Cocos nucifera* L.) para produção de polpa celulósica**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 321-330, 2016.

CINTRA, F.L.D.; FONTES, H.R.; PASSOS, E.E.M. **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no Nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 232 p.

CORRADINI, E.; ROSA, M. F.; MACEDO, B. P. et al. **Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 31, n. 3, p.837-846, 2009.

CZERNIK, S.; BRIDGWATER, A. V., **Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil**. Energy & Fuels, v. 18, p. 590-598, 2004.

DIAS JUNIOR, A.F.; ESTEVES, R.P.; DA SILVA, A.M. et al. **Investigating the pyrolysis temperature to define the use of charcoal**. European Journal of Wood and Wood Products, v. 78, p. 193–204 (2020).

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Production. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>. Acesso em: 01 dezembro 2019.

GREWAL, A. ABBEY, L. GUNUPURU, L. R. **Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 135, p. 152–159, 2018.

GUARNIERI, S.F. **Alteração de atributos do solo devido ao emprego de biocarvão de frutos de *Cocos nucifera* L.** 44f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE/LSPA. **Levantamento sistemático da Produção Agrícola.** Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Dezembro. Séries 2016, 2017 e 2018.

JENKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; MILES JR., T. R.; MILES, T. R. **Combustion properties of biomass.** Fuel Processing Technology, Edinburgh, v. 54, p. 17-46, 1998.

KIM DH, SEO HE, SANG-CHUL L, KYEONG-YEOLL L. **Effect of wood vinegar mixed with insecticides on the mortalities of *Alarvata lugens* and *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae).** Animal Cells Systems, v.12, n.1, p.47-52, 2008.

MAIA C, M. B. de F; LIMA, R. M. de; G, de M. **Efeito da temperatura final de carbonização nas propriedades físico-químicas do biocarvão da fibra do coco.** Embrapa Florestas: Colombo, PR. 2013. (Comunicado Técnico, 323).

MAIA C, M. B. de F. **Biochar: uma nova ferramenta no manejo de solos.** In: Anais do II Seminário de Atualização Florestal e XI Semana de Estudos Florestais. Colombo, PR. 2010.

MARAFON, A.C.; NUNES, M. U. C.; AMARAL, A. F. C.; SANTOS, J. P. **Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019 (Documentos, 234). 22p.

MARTINS, C. R., JESUS JÚNIOR, L. A. DE. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros 2014. 51 p. (Documentos, 184).

MOHAN, D.; PITTMAN, C. U. J.; STEELE, P. H. **Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review**. Energy & Fuels, v. 20, n.3, p. 848-889, 2006.

MORAES, M. S. A.; MIGLIORINI, M. V.; DAMASCENO, F. C.; GEORGES, F.; ALMEIDA, S.; ZINI, C. A.; JACQUES, R. A.; CARAMÃO, E. B., J. **Qualitative analysis of bio oils of agricultural residues obtained through pyrolysis using comprehensive two dimensional gas chromatography with time-of-flight mass spectrometric detector**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 98 p. 51-64, 2012.

MURRY, J. Mc. **Química Orgânica**, vol.2, Tradução da 9ª ed. Norte-americana, Ed. Cengage Learning, São Paulo, 2016. 688p.

PADILLA, E. R. D. et al. **Potencial energético da casca de coco (*Cocos nucifera* L.) para uso na produção de carvão vegetal por pirólise**. Revista Virtual de Química, v.10, n.2, p. 1-12, 2018.

PARANAVITHANA, G.N., KAWAMOTO, K., INOUE, Y. et al. **Adsorption of Cd²⁺ and Pb²⁺ onto coconut shell biochar and biochar-mixed soil**. Environmental Earth Sciences, v. 75, n. 484, p. 1-12, 2016.

PAZ, E.C.S.; et al. **Estudo dos produtos da pirólise e potencial energético da fibra de coco da baía**. In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Gramado, abril de 2018.

RAMPAZZO, A. P. **(Caracterização físico-química e anatômica da fibra de coco verde (*Cocos nucifera* L.))**. Monografia. Graduação de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2011.

SANROMAN, M. A.; LEE, D. J.; KHANAL, S.; OK, Y. S. **Special Issue on Biochar: Production, Characterization and Applications Beyond Soil Applications**. Bioresource Technology, v. 246, p. 1-1, 2017.

SCHENA, T. **(Pirólise da fibra da casca de coco: caracterização do bio-óleo antes e após a aplicação de dois processos de melhoramento)**. Dissertação Mestrado em Química. 172 p. Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SILVEIRA, A. J. DA M, **(Viabilidade técnica da pirólise da biomassa do coco: produção de bioóleo, biocarvão e biogás)**. 2018. 62f. Dissertação. Mestrado em Energia da Biomassa - Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

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

VEIGA, T. R. L. A. **(Síntese e caracterização de biocarvões de biomassa de casca de café e de madeira de eucalipto)**. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2016.

WITITSIRI, S. **Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata*** Songklanakarin Journal of Science Technology, v. 33, p. 349–354, 2011.