

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

PAULO HENRIQUE MARTINS DO NASCIMENTO

**ESTUDO DAS PERSPECTIVAS DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS
URBANOS DE BIOMASSA SÓLIDA DE COCO VERDE E ANÁLISE DA
COMBUSTÃO E EMISSÕES DE GASES ALCALINOS EM NÍVEL
LABORATORIAL**

SANTOS/SP

2021

PAULO HENRIQUE MARTINS DO NASCIMENTO

**ESTUDO DAS PERSPECTIVAS DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS
URBANOS DE BIOMASSA SÓLIDA DE COCO VERDE E ANÁLISE DA
COMBUSTÃO E EMISSÕES DE GASES ALCALINOS EM NÍVEL
LABORATORIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Teófilo Salinas Sedano e coorientação do Prof. Dr. Chun Lou.

SANTOS/SP

2021

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

621.042 Nascimento, Paulo Henrique Martins do.
N197e ESTUDO DAS PERSPECTIVAS DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS
URBANOS DE BIOMASSA SÓLIDA DE COCO VERDE E ANÁLISE DA COMBUSTÃO
E EMISSÕES DE GASES ALCALINOS EM NÍVEL LABORATORIAL.

Paulo Henrique Martins do Nascimento - 2021.

92 p.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Teófilo Salinas Sedano.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2021.

1. Biomassa. 2. Coco verde. 3. Combustão. 4. Duas cores.
5. Espectrometria.

I. Sedano, Carlos Teófilo Salinas. II. Lou, Chun. III. ESTUDO
DAS PERSPECTIVAS DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS URBANOS DE BIOMASSA
SÓLIDA DE COCO VERDE E ANÁLISE DA COMBUSTÃO E EMISSÕES DE GASES
ALCALINOS EM NÍVEL LABORATORIAL.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe por todo incentivo e ajuda e à minha esposa que me apoiou de diversas maneiras durante esta importante etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre guiar meu caminho, abrindo as portas e me iluminando para alcançar novas conquistas.

A minha esposa Daniela Porto Melo por ser sempre meu porto seguro, principal incentivadora dos meus projetos e estar sempre ao meu lado nesta importante caminhada.

A todos meus familiares, em especial minha mãe Andrea Martins de Oliveira e meus irmãos Victor Hugo Martins do Nascimento e Julio Cesar Martins do Nascimento que ao longo desta trajetória estiveram sempre ao meu lado me dando suporte e palavras de conforto.

Ao meu orientador professor Dr. Carlos Teófilo Salinas Sedano pela orientação e imenso apoio neste trabalho.

Ao corpo técnico de professores e todos os colaboradores envolvidos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNISANTA.

Aos meus colegas de turma da Universidade Santa Cecília que me auxiliaram durante essa jornada.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo acerca de uma possibilidade de mitigar os efeitos poluentes do lixo urbano de biomassa procedente de resíduos sólidos de coco verde de municípios da baixada santista. Existem vários caminhos para a utilização dos resíduos de coco verde, entre eles, produção de fibras, produção de carvão vegetal via combustão incompleta controlada ou geração de energia via combustão direta. Esta obra tem por finalidade analisar a viabilidade da utilização do resíduo de coco verde como fonte de energia via combustão. Foi realizado um trabalho de campo em Santos e outras sete cidades da Baixada Santista a fim de estimar a quantidade de coco verde descartado proveniente da comercialização do fruto. Foram realizados experimentos de queima de biomassa de coco verde em uma câmara de combustão tubular utilizando separadamente o epicarpo, mesocarpo e endocarpo. O cálculo da temperatura foi realizado utilizando os espectros de emissão de chamas através do método duas cores e a estimativa da emissão de poluentes alcalinos foi determinada utilizando técnicas de espectrometria na faixa de luz visível. Os valores de temperatura de chama ficaram entre 1.000 e 1.600 K. Encontrou-se que a média estatística da emissão de potássio para o bagaço de coco verde foi de 19,2967 mg/m³ com um desvio padrão de 22,16 mg/m³. A emissão de sódio teve uma média de 0,1185 mg/m³ com um desvio padrão de 0,1052 mg/m³. Estima-se que a biomassa de coco verde descartada no verão tem capacidade de abastecer energeticamente 2.858 imóveis residenciais por mês e 823 imóveis mensalmente nas outras estações do ano.

Palavras chave: Biomassa; Coco verde; Combustão; Duas cores; Espectrometria.

ABSTRACT

This work presents a study about a possibility to mitigate the pollutant effects of biomass urban waste coming from solid residues of coconut green from municipalities in the Santos region. There are several ways to use green coconut residues, including fiber production, charcoal production via controlled incomplete combustion or energy generation via direct combustion. This work is based on the feasibility of using green coconut waste as a source of energy through combustion. Field work was carried out in Santos and seven other cities in the Baixada Santista in order to estimate the amount of discarded green coconut from the commercialization of the fruit. Experiments were carried out to burn green coconut biomass in a tubular combustion chamber using the epicarp, mesocarp and endocarp. The temperature calculation was performed using the flame emission spectra through the two-color method and the estimation of the emission of alkaline pollutants was provided using spectrometry techniques in the visible light range. The flame temperature values received between 1,000 and 1,600 K. It was found that the statistical mean of potassium emission for the green coconut bagasse was 19.2967 mg / m³ with a standard deviation of 22.16 mg / m³. Sodium emission had an average of 0.1185 mg / m³ with a standard deviation of 0.1052 mg / m³. It is estimated that the green coconut biomass discarded in the summer has energy to supply 2,858 residential properties per month and 823 properties monthly in the other seasons of the year.

Keywords: Biomass; Green coconut; Combustion; Two colors; Spectrometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma simplificado de geração de vapor e energia elétrica (SANTOS, 2019).....	25
Figura 2 – Matriz por origem de combustível (ANEEL, 2021).....	26
Figura 3 – Esquema experimental de calibração para estimação de gases alcalinos (LOU, 2017).....	30
Figura 4 – Produção de coco por região - (IBGE, 2018).....	32
Figura 5 – Características gerais do coco verde - (MATTOS, 2011).....	35
Figura 6 – Câmara de combustão tubular.....	40
Figura 7 – Desenho esquemático da câmara de combustão tubular.....	40
Figura 8 – Aparato para realização experimental da queima de biomassa e sistema de espectrometria.....	41
Figura 9 – Sistema de aquisição de imagem.....	42
Figura 10 – Etapas de preparação das amostras de coco verde.....	43
Figura 11 – Coco verde desfiado.....	44
Figura 12 – Forno tipo túnel movido a gás GLP e óleo diesel.....	45
Figura 13 – Fluxograma esquemático do processo de secagem de biomassa de coco verde.....	46
Figura 14 – Secagem de biomassa de coco verde.....	47
Figura 15 – Amostras de epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde.....	47
Figura 16 – Carcaças de coco verde partidas ao meio torrefadas.....	48
Figura 17 – Amostras de coco verde torrefadas.....	48
Figura 18 – Quantidade recolhida de resíduos de coco verde gerados no município de Santos no ano de 2019 - (COCAMBI, 2019).....	51
Figura 19 – Porcentagem da média de cocos verdes descartados diariamente no verão nos quiosques e carrinhos da faixa de areia das praias e nos principais pontos de vendas de municípios da Baixada Santista.....	58
Figura 20 – Porcentagem da média de cocos verdes descartados diariamente nas outras estações do ano nos quiosques e carrinhos da faixa de areia das praias e nos principais pontos de vendas de municípios da Baixada Santista.....	58
Figura 21 – Esquemática do procedimento de queima de biomassa de coco verde em câmara tubular de combustão em laboratório.....	62
Figura 22 – Captura dos momentos ideais de chamas - Parte 1.....	63

Figura 23 – Captura dos momentos ideais de chamas - Parte 2.....	63
Figura 24 – Potência irradiada em função do comprimento de onda (epicarpo de coco verde desfiado).....	64
Figura 25 – Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 10 nm.....	65
Figura 26 – Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 15 nm.....	66
Figura 27 – Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 20 nm.....	66
Figura 28 – Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 25 nm.....	67
Figura 29 – Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 30 nm.....	67
Figura 30 – Potência irradiada em função do comprimento de onda - Mesocarpo de coco verde desfiado.....	68
Figura 31 – Potência irradiada em função do comprimento de onda (bagaço de cana de açúcar) - (SALINAS, 2020).....	68
Figura 32 – Temperatura em função do comprimento de onda - Mesocarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 30 nm.....	69
Figura 33 – Potência irradiada em função do comprimento de onda - Endocarpo de coco verde.....	70
Figura 34 – Temperatura em função do comprimento de onda - Endocarpo de coco verde - Distância entre $\Delta\lambda$: 30 nm.....	70
Figura 35 – Temperatura média da chama durante o processo de combustão de epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde.....	71
Figura 36 – Gráfico da mediana para vários experimentos de epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde.....	72
Figura 37 – Temperatura em função do tempo de chama com características desejáveis (16:08:39 à 16:08:50) - Epicarpo de coco verde.....	74
Figura 38 – Temperatura em função do tempo de chama com características desejáveis (16:17:16 à 16:17:28) - Epicarpo de coco verde.....	75
Figura 39 – Temperatura em função do tempo de chama com características desejáveis (16:31:54 à 16:32:28) - Mesocarpo de coco verde.....	75
Figura 40 – Temperatura em função do tempo de chama com características	

desejáveis (16:37:52 à 16:38:03) - Endocarpo de coco verde.....	76
Figura 41 – Concentração de potássio em função do tempo (16:08:39 à 16:08:59) - Epicarpo de coco verde.....	77
Figura 42 – Concentração de potássio em função do tempo - Epicarpo de coco verde.....	78
Figura 43 – Concentração de sódio em função do tempo (16:12:48 à 16:13:11) - Epicarpo de coco verde.....	78
Figura 44 – Concentração de sódio em função do tempo - Epicarpo de coco verde.....	79
Figura 45 – Concentração de potássio em função do tempo (16:31:54 à 16:32:28) - Mesocarpo de coco verde.....	79
Figura 46 – Concentração de sódio em função do tempo (16:32:00 à 16:32:33) - Mesocarpo de coco verde.....	80
Figura 47 – Concentração de potássio em função do tempo (16:37:52 à 16:38:04) - Endocarpo de coco verde.....	81
Figura 48 – Concentração de sódio em função do tempo (16:37:54 à 16:38:20) - Endocarpo de coco verde.....	81
Figura 49 – Concentração de sódio em função do tempo - Epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde.....	82
Figura 50 – Gráfico da mediana para a concentração de sódio na biomassa de coco verde.....	82
Figura 51 – Concentração de potássio em função do tempo - Epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde.....	83
Figura 52 – Gráfico da mediana para a concentração de potássio na biomassa de coco verde.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de coco por região - (IBGE, 2018).....	32
Tabela 2 – Caracterização físico-química do bagaço de coco verde - (LIRA, 2014).....	37
Tabela 3 – Caracterização química das cinzas do bagaço de coco verde - (LIRA, 2014).....	37
Tabela 4 – Caracterização físico-química da casca de coco verde e do endocarpo do coco seco - (MARAFFON, 2019).....	38
Tabela 5 – Quantidade recolhida de resíduo de coco verde gerados no município de Santos no ano de 2019 - (COCAMBI, 2019).....	51
Tabela 6 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos carrinhos da faixa de areia da praia da enseada (centro) no município de Bertioga.....	52
Tabela 7 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla das praias do município de Guarujá.....	53
Tabela 8 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos carrinhos da faixa de areia das praias do município de Guarujá.....	53
Tabela 9 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla da praia do município de Itanhaém.....	53
Tabela 10 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla da praia do município de Mongaguá.....	54
Tabela 11 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla da praia do município de Peruíbe.....	54
Tabela 12 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla das praias do município de Praia Grande.....	55
Tabela 13 – Estimação da média de cocos fornecidos diariamente para os carrinhos da faixa de areia das praias do município de Praia Grande.....	55
Tabela 14 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos principais pontos de venda do município de Santos.....	56
Tabela 15 – Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla das praias do município de São Vicente.....	56
Tabela 16 – Estimação da média de cocos verdes descartados diariamente em temporadas de verão e em outras estações do ano através do comércio em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e em principais pontos de vendas em municípios	

da Baixada Santista.....56

Tabela 17 – Estimação do peso médio de cocos verdes descartados diariamente em temporadas de verão e em outras estações do ano através do comércio em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e em principais pontos de vendas em municípios da Baixada Santista.....59

Tabela 18 – Resultados dos testes experimentais de laboratório.....73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	-	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCD	-	<i>Charge-Coupled Device</i>
CETESB	-	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COCAMBI	-	Coordenadoria de Controle Ambiental
Db	-	Densidade Básica
EPE	-	Empresa de Pesquisa Energética
FES	-	<i>Flame Emission Spectroscopy</i>
GLP	-	Gás Liquefeito de Petróleo
HUST	-	<i>Huazhong University of Science and Technology</i>
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PCI	-	Poder Calorífico Inferior
PCS	-	Poder Calorífico Superior
PMS	-	Prefeitura Municipal de Santos
PNRS	-	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SEMAM	-	Secretaria de Meio Ambiente
UNISANTA	-	Universidade Santa Cecília
USB	-	<i>Universal Serial Bus</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>c</i>	-	Velocidade da luz
C	-	Carbono
Ca	-	Cálcio
CaO	-	Óxido de cálcio
CH₄	-	Metano
cm	-	Centímetro
CO	-	Monóxido de carbono
CO₂	-	Dióxido de carbono
Cr₂O₃	-	Óxido de cromo
CuO	-	Óxido de cobre
Fe	-	Ferro
Fe₂O₃	-	Óxido de ferro
g	-	Gramma
<i>h</i>	-	Constante de Planck
H₂	-	Gás hidrogênio
H₂O	-	Água
I	-	Intensidade de radiação
<i>k</i>	-	Constante de Boltzmann
K	-	Potássio / Kelvin
kcal	-	Quilocaloria
kg	-	Quilograma
K₂O	-	Óxido de potássio
m	-	Metro
Mcal	-	Mega caloria
mg	-	Miligrama
MJ	-	Megajoule
mm	-	Milímetro
MnO	-	Óxido de manganês
m³	-	Metro cúbico
N	-	Nitrogênio
Na	-	Sódio
NiO	-	Óxido de níquel

Nm	-	Newton metro
NO	-	Óxido nítrico
N₂	-	Gás nitrogênio
O₂	-	Gás oxigênio
ppm	-	Partícula por milhão
P₂O₅	-	Pentóxido de fósforo
R\$	-	Real
s	-	Segundo
Si	-	Silício
SiO₂	-	Óxido de silício
SO₃	-	Óxido sulfúrico
T	-	Temperatura
TiO₂	-	Dióxido de titânio
V₂O₅	-	Pentóxido de vanádio
ZnO	-	Óxido de zinco
ϵ	-	Emissividade
λ	-	Comprimento de onda
π	-	Pi
°C	-	Grau Celsius
\leq	-	Menor igual
\geq	-	Maior igual
Σ	-	Somatório

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivo.....	20
1.2	Objetivos secundários.....	20
1.3	Justificativa e relevância do tema.....	20
1.4	Organização da dissertação.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	Biomassa.....	22
2.2	Combustão de biomassa.....	22
2.2.1	Medição de temperatura.....	24
2.3	A biomassa como matéria prima para a geração de energia elétrica.....	25
2.4	Formulação das técnicas de medidas de temperatura de chamas e conteúdo de gases alcalinos.....	26
2.5	Uma visão do estado da produção e descarte de resíduo de coco urbano no Brasil e no município de Santos.....	31
2.6	Métodos e práticas comuns para a utilização do bagaço de coco verde.....	33
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	Características gerais do fruto coco.....	35
3.2	Características físico-química e análises da composição química do bagaço de coco.....	36
3.3	Câmara de combustão tubular.....	39
3.4	Sistema de espectrometria.....	41
3.5	Sistema de imagens térmicas.....	41
3.6	Procedimento experimental.....	42
3.6.1	Pré-tratamento dos cocos verdes.....	42
3.6.2	Trituração.....	44
3.6.3	Secagem.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	Estimativa do Potencial Energético do coco verde descartado na Baixada Santista.....	49
4.1.1	Estimação da quantidade de coco verde descartado através da comercialização em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e principais pontos de venda em municípios da Baixada Santista.....	50
4.1.2	Estimativa do potencial energético.....	60
4.2	Resultados dos testes de combustão de biomassa de coco verde em laboratório.....	61
4.2.1	Determinação da temperatura da chama.....	63
4.2.1.1	Experimento realizado com epicarpo de coco verde desfiado.....	64
4.2.1.2	Experimento realizado com mesocarpo de coco verde desfiado.....	67
4.2.1.3	Experimento realizado com endocarpo de coco verde.....	69
4.2.2	Determinação da temperatura da chama ao longo do processo de combustão.....	73
4.3	Emissão de gases alcalinos.....	76
5	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A	92

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia através da queima de biomassa vegetal é um processo ambientalmente favorável tendo em vista que a utilização de combustíveis fósseis como fonte energética causa grande degradação ao meio ambiente. O consumo de água de coco verde no Brasil é crescente e significativo devido aos seus excelentes benefícios naturais. A alta demanda é suprida pela comercialização do fruto e principalmente pelos processos de extração e envasamento da água. No entanto, estima-se que são produzidos mais de dois milhões de toneladas de coco anualmente no Brasil (MARAFON, 2019). Por se tratar de um produto natural o fruto tem capacidade de se decompor no meio ambiente. Porém, como grande parte é destinado a aterros sanitários, levando em conta que uma unidade sem o albúmen líquido (água de coco) representa cerca de 80 a 85 % do seu peso bruto total (SILVEIRA, 2008), todo esse volume de resíduo causa elevado impacto ambiental negativo acarretando abertura de novos espaços para armazenamento de lixo urbano. Em vista dessa problemática, medidas alternativas e sustentáveis para a diminuição dos problemas causados pelo descarte das cascas de coco verde devem ser propostas. Desta forma, o reaproveitamento além de ajudar na preservação da natureza tem potencial de gerar empregos podendo contribuir com o desenvolvimento econômico de uma região.

A lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define diretrizes para reduzir a geração de resíduos sólidos e combater a poluição no Brasil. Estabelecer soluções integradas para a coleta seletiva, a recuperação e reciclagem, o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada, estão entre as diretrizes da lei. Dessa forma, os municípios da Baixada Santista têm a obrigatoriedade de desenvolver soluções alternativas para a reciclagem do coco verde em vias de diminuir o volume encaminhado para aterros sanitários, o que contribuiria de grande forma para o aumento da vida útil desses locais.

Em virtude da crescente e global demanda por energia atual, consumo excessivo dos combustíveis fósseis e alterações climáticas, alguns países têm incentivado o uso de fontes de energias renováveis, tais como a biomassa como prioridade estratégica nacional (ROCHA, 2013). A biomassa pode ser obtida através de fontes de vegetais não-lenhosos, de vegetais lenhosos, óleos vegetais e resíduos

orgânicos (ROCHA, 2015). O aproveitamento de biomassa pode ser realizado por meio de processos de combustão direta, termoquímicos, tais como a gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação ou através de processos biológicos, como por exemplo a digestão anaeróbia e fermentação (CORTEZ, 2008).

Em razão de seu alto teor de umidade, o processo de queima da biomassa de coco verde é inviável de maneira direta, sendo necessário a realização de algumas etapas anteriormente, tais como: secagem (redução do teor de umidade) e a moagem ou trituração que expande a área de contato da biomassa com a chama facilitando o processo de combustão. Contudo, existem relatos na literatura a respeito da utilização energética dessa biomassa, tais como, na produção de briquetes a partir dos resíduos de coco em substituição à lenha (SILVEIRA, 2008). A fabricação de briquetes ocorre através da compactação de resíduo de natureza lignocelulósica, em que é destruída a elasticidade natural das fibras desse resíduo, sendo uma forma bastante eficiente de concentrar a energia disponível da biomassa, pois em um volume de 1 m³ de briquetes, contém cerca de duas a cinco vezes mais energia que em 1 m³ de resíduos (ROCHA, 2015). Outro exemplo de utilização energética para os resíduos de coco verde é a transformação em carvão vegetal. Experimentos conduzidos por pirólise lenta (carbonização) do bagaço (mesocarpo) e da casca (epicarpo) do coco verde, demonstraram que tanto o carvão obtido da casca quanto do bagaço, apresentam, pelo menos em termos qualitativos, viabilidade para uso energético (CORTEZ, 2009).

Em alguns países do continente Europeu e Asiático, diversos tipos de biomassa são utilizados em processos para geração de calor, em que são conhecidos os efeitos nocivos dos metais alcalinos causados pela sua queima, sendo o elemento químico Potássio o principal causador de corrosão e aparecimento de incrustações e escória nas superfícies de equipamentos com trocas de calor em baixas temperaturas (HE, 2019). Através da análise dos resultados da composição química das cinzas do bagaço de coco demonstrado por (LIRA, 2014), nota-se que um dos principais elementos inorgânicos encontrados foi o Potássio. Desta forma, determinar as concentrações das emissões de gases alcalinos, como o Potássio, durante o processo de combustão de biomassas, é de suma importância para a prevenção de danos em equipamentos como caldeiras.

A determinação de fatores de conexão entre temperatura e concentração de gases alcalinos durante as fases da combustão (volatilização, combustão do carvão e formação de cinzas) é um processo essencial para avaliar a eficiência da queima de

biomassa de coco verde em caldeiras para a produção de energia, pois através destas informações, é possível otimizar a operação das caldeiras de termoelétricas que utilizam resíduos sólidos como fonte de combustível, melhorando a eficiência do equipamento e gerando redução nos custos com manutenção (LOU, 2017) (BARISIC, 2016).

Uma técnica desenvolvida para converter elementos químicos inorgânicos voláteis, como o Potássio, em um composto menos agressivo às instalações de caldeiras vem sendo estudada. Trata-se de um processo em que aditivos químicos são insuflados aos gases de combustão antes da entrada nas áreas de saídas dos tubos da caldeira, deixando claro a importância de estimar a concentração de gases alcalinos em processos de combustão de resíduos sólidos de biomassa, pois o cálculo do volume de aditivo que será insuflado aos gases para mitigar os danos causados às caldeiras, depende diretamente desta estimativa (LOU, 2017) (BARISIC, 2016).

Duas outras técnicas utilizadas para amenizar a corrosão causada por metais alcalinos são: a lixiviação, em que ocorre um tratamento prévio da biomassa para a retirada desses elementos nocivos e a queima da biomassa combinada com carvão (BASHIR, 2012).

Um método de análise quantitativa de emissão de metais alcalinos durante a queima de biomassas utilizados por pesquisadores e neste trabalho é a Espectroscopia de Emissão de Chama (*FES - Flame Emission Spectroscopy*). Através deste método é possível estimar as temperaturas e concentrações de elementos químicos liberados na combustão por meio de medições do espectro eletromagnético da chama (SALINAS, 2020). Com a utilização de um espectrômetro é possível medir intensidades de radiação eletromagnética geradas pela chama para os comprimentos de onda na faixa da luz visível e infravermelho próximo, sendo mais fácil a medição nos comprimentos de onda derivados de elementos e compostos químicos pela presença de linhas de emissão ou absorção que caracterizam suas presenças e concentrações (SALINAS, 2020).

A concentração de potássio também pode ser estimada realizando uma comparação entre as intensidades das linhas de emissão obtidas na temperatura do experimento com intensidades obtidas em processo de calibração que utilizam concentrações conhecidas de sais de potássio e em temperaturas controladas (HE, 2019).

Uma pesquisa desenvolvida com o intuito de estimar o volume de emissão de

metais alcalinos com a presença tanto de Potássio quanto de Sódio no processo de combustão de resíduos sólidos municipais em incineradores industriais foi desenvolvida utilizando o método FES (YAN, 2017). Os resultados demonstraram que o monitoramento da temperatura e intensidade de radiação das linhas de emissão dos metais alcalinos através do método FES, pode ser utilizado como parâmetro para o acompanhamento do soprador de ar e alimentador de resíduos sólidos.

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o potencial energético da queima em câmara de combustão da biomassa de coco verde pela técnica de espectrometria de luz visível e caracterizar os gases alcalinos gerados no processo.

1.2 Objetivos secundários

Como objetivo secundário este trabalho visa estimar o potencial energético desperdiçado atualmente em municípios da baixada santista através da quantidade total de resíduos de coco verde descartado diariamente no verão e nas outras estações do ano.

1.3 Justificativa e relevância do tema

A elaboração deste trabalho teve como motivação a realização de um estudo através da análise da queima de biomassa de resíduo sólido de coco verde urbano a fim de contribuir com a preservação do meio ambiente por meio da verificação da viabilidade de perspectivas de utilização. A reutilização de produtos que apresentam essa capacidade é de suma importância para que se possa diminuir os impactos negativos gerados pelo lixo na natureza, sendo necessário a formulação de novas técnicas sustentáveis para a reciclagem deste material.

A escassez de literatura a respeito de avaliações da utilização de resíduos sólidos do coco verde através do estudo da combustão de sua biomassa é um fator que evidencia grandemente a relevância do tema proposto, podendo contribuir para a formulação e desenvolvimento de novas técnicas de reaproveitamento desses resíduos.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira: no primeiro capítulo

foi introduzido um breve histórico sobre o tema, o objetivo principal e o secundário e a justificativa e relevância do tema proposto.

No capítulo dois é ilustrado a fundamentação teórica, discorrendo a respeito de biomassa e sua combustão e da biomassa como matéria prima para a geração de energia elétrica. Também neste capítulo é demonstrado a formulação das técnicas de medidas de temperatura de chamas e conteúdo de gases alcalinos, uma visão do estado da produção e descarte de resíduo de coco urbano no Brasil e no município de Santos. A pesquisa foi desenvolvida tendo como foco a cidade de Santos onde se encontra o atual programa de mestrado e residência do aluno, viabilizando a obtenção de dados sobre descartes e aterros nesta região. Também neste capítulo são demonstrados os métodos e práticas comuns para a utilização do bagaço de coco verde.

O terceiro capítulo trata a respeito do material e métodos em que é ilustrado as características gerais do fruto coco, as características físico-química e análises da composição química, também as características e o funcionamento da câmara de combustão tubular, do sistema de espectrometria e do sistema de imagens térmicas. Em seguida a realização do procedimento experimental em que foi empregado o pré-tratamento dos cocos verdes recolhidos e as fases de trituração e secagem do material.

No capítulo quatro os resultados e discussões iniciam-se pelos procedimentos para estimação da quantidade de coco verde descartado através da comercialização em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e principais pontos de venda em municípios da Baixada Santista a fim de realizar a estimação do potencial energético. Neste capítulo também são demonstrados os resultados obtidos em laboratório, a começar pelos resultados dos testes de combustão de biomassa de coco verde e estimação da temperatura da chama, seguidos pelos processos dos experimentos realizados com a casca (epicarpo), o bagaço (mesocarpo) e a capa protetora da polpa, denominado endocarpo. Ao término deste capítulo a estimação da temperatura da chama ao longo do processo de combustão e os resultados das análises de emissão de gases alcalinos. Concluindo a dissertação no quinto capítulo em que são demonstradas as conclusões obtidas através de toda pesquisa realizada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Biomassa

A biomassa, assim como o petróleo é um hidrocarboneto. Porém, ao contrário dos combustíveis fósseis a biomassa contém átomos de oxigênio em sua composição química. A presença desses átomos faz com que a biomassa requeira menos oxigênio do ar sendo menos poluente. No entanto, reduz a quantidade de energia a ser liberada e o seu Poder Calorífico Superior (RENDEIRO, 2008).

Biomassa vegetal é uma composição estruturada de três famílias de compostos químicos: hemicelulose, celulose e lignina, além de outras espécies menores (compostos alifáticos e fenólicos). A composição elementar da biomassa permite calcular a quantidade de ar necessária para o processo de combustão. A energia contida no combustível é denominada de Poder Calorífico Superior e, conhecendo-se a composição química do combustível o Poder Calorífico Inferior pode ser calculado (RENDEIRO, 2008).

2.2 Combustão de biomassa

Combustão e gasificação são processos de conversão da energia contida na biomassa. Os dois processos são realizados através da reação dos elementos da biomassa com o ar, sendo que na combustão o processo ocorre com excesso de oxigênio enquanto que a gasificação acontece com a falta deste. O excesso ou falta de oxigênio está relacionado a uma determinada quantidade de referência chamada de Quantidade de Ar Estequiométrica (RENDEIRO, 2008).

Combustão é a reação rápida entre o oxigênio e os constituintes de um combustível, com a produção de calor e luz (GARCIA, 2013). Na combustão, os elementos reagentes, geralmente o oxigênio do ar e um hidrocarboneto (cadeias de carbono e hidrogênio), colidem entre si ocorrendo a sua destruição. Então acontece uma recombinação dos elementos químicos resultantes dessa destruição formando novas espécies químicas que são denominadas de Produtos. Essa destruição é seguida de recombinação numa determinada região espacial onde ocorre a liberação de calor e eventualmente emissão de luz. Para resumir, pode-se classificar a combustão como uma reação química exotérmica entre um combustível e um comburente, normalmente o oxigênio, para a liberação de calor e formando como produto um grupo de espécies diferentes dos reagentes.

Segundo (RENDEIRO, 2008), o fenômeno da combustão tem como base os

seguintes conceitos que se classificam como:

- a)** Reagente: é uma mistura de combustível e oxigênio capaz de reagir entre si com liberação ou absorção de calor;
- b)** Combustível: são as substâncias capazes de reagir com os oxidantes, como por exemplo os hidrocarbonetos;
- c)** Oxidante: são as substâncias que fornecem oxigênio para o combustível, como exemplo o oxigênio do ar;
- d)** Produto: são as substâncias residuais derivadas da reação dos reagentes. Classificam-se como produto os compostos de CO_2 e H_2O , podendo conter teores de CO , NO , hidrocarbonetos, particulados, entre outros, o que irá depender das condições da reação química;
- e)** Inerte: substâncias químicas adicionadas aos reagentes que não reagem com o combustível ou oxidante e formam a composição dos produtos. N_2 por exemplo;
- f)** Calor de Reação: é o calor liberado durante a combustão.

De acordo com (RENDEIRO, 2008), o processo de combustão de sólidos consiste em quatro etapas e apesar de serem distintas elas podem ocorrer de maneira simultânea em diferentes regiões da biomassa em reação. As fases são as seguintes:

- 1)** Aquecimento e Secagem: processo de retirada da umidade que está contida no combustível sólido através da adição de calor provocando a evaporação da água;
- 2)** Pirólise: após a etapa de secagem do combustível sólido, se a sua temperatura for elevada a níveis adequados ocorrerá a liberação dos gases inflamáveis contidos na substância sólida. Essa fase também é conhecida como Volatilização. Os gases liberados nessa etapa quando misturados com o oxigênio do ar em proporções adequadas tornam-se uma mistura inflamável;
- 3)** Combustão: na combustão, os gases gerados no processo de pirólise reagem com o oxigênio numa reação exotérmica tendo como produtos $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Calor}$ (produtos hipotéticos para uma reação ideal estequiométrica). Nesta fase a chama normalmente é visível;
- 4)** Pós-Combustão: ao término da pirólise a biomassa torna-se uma massa sólida composta de carvão e cinza. As partículas de dimensões reduzidas, denominadas de particulados, são arrastadas pelos gases e tomam seu caminho pela chaminé. Uma fração do carbono e cinzas consegue gasificar e entra no escoamento na forma de CO , CH_4 e H_2 e outros gases. O restante do carvão e das cinzas é removido da câmara de combustão na forma de resíduos.

2.2.1 Medição de temperatura

Segundo (ROSSOW, 2005) a transferência de calor de um objeto para outro é dada através de três possíveis processos. São eles a condução, convecção e a radiação. Condução é o processo em que ocorre a transferência de calor de um objeto para outro por meio do contato. Já a convecção é o processo pelo qual as substâncias aquecidas sobem devido às diferenças de densidade entre temperaturas. A radiação é o processo em que um objeto emite calor por meio de radiação eletromagnética onde a radiação térmica é definida como a energia radiante.

De acordo com (ROSSOW, 2005) os métodos para medições de temperatura de chama se classificam em intrusivos e não intrusivos, sendo que quase sempre envolvem os processos de condução ou radiação. Métodos baseados em condução, conhecidos como métodos intrusivos, dependem da Lei Zero da Termodinâmica e os de radiação fornecem a base para os métodos não intrusivos.

Os métodos intrusivos são os que requerem alguma parte do sensor de temperatura em contato com a chama, medindo o calor por condução. A aplicação desses métodos requer que a sonda do sensor seja robusta o suficiente com capacidade de sobreviver intacta no ambiente de alta temperatura e chama. Um exemplo de medição de temperatura intrusiva se dá através do uso de termopares. Os termopares são uma das formas mais comuns de medição de temperatura sendo utilizados para o monitoramento de variáveis de controle em fornos e caldeiras. No entanto, a maioria dos termopares não são robustos o suficiente para suportar as altas temperaturas e o ambiente corrosivo de dentro de uma chama. Uma desvantagem na medição por termopares é que em vez de medir a temperatura da chama, o que realmente está sendo medido é a temperatura da junção do termopar e do gás circundante.

Métodos não intrusivos como a Espectroscopia de Emissão de Chama (FES) utilizam a radiação eletromagnética para medição de temperatura. Na aplicação desse método, várias regiões do espectro eletromagnético podem ser usadas para estimação da temperatura, sendo as mais comuns na região de luz visível e o infravermelho. Através da radiação na região de luz visível é possível monitorar outros parâmetros da combustão além da temperatura por meio das linhas de emissão no espectro, como por exemplo, a proporção da mistura combustível/comburente e, conseqüentemente, a emissão de óxidos de nitrogênio.

2.3 A biomassa como matéria prima para a geração de energia elétrica

O Brasil, por ser um grande produtor de diversas culturas agrícolas, caracteriza-se como um país promissor para a produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis como a biomassa. No país, a geração de energia em grande parte é dada através das usinas hidrelétricas em que o combustível utilizado é a água, fonte que necessita de condições ambientais favoráveis para a instalação.

Olhando para o futuro, uma alternativa para o não esgotamento das fontes não renováveis é a produção de energia elétrica através de fontes energéticas renováveis, como por exemplo o sol e o vento, que se repõem na natureza de forma mais rápida que o tempo de utilização pelo homem, de maneira contrária as fontes não renováveis como o petróleo, no qual leva milhões de anos para se estabelecer novamente.

A geração de energia elétrica por meio de biomassas como fonte combustível é produzida através de caldeiras que utilizam a energia térmica liberada pela combustão na produção de vapor pressurizado. O vapor é utilizado na impulsão de conjuntos turbinas/geradores responsáveis pela geração de energia elétrica (SAMPAIO, 2014). Resíduos de produtos agrícolas produzidos em larga escala no Brasil possuem grande potencial para uso em geração de energia elétrica, destacando-se o bagaço de cana de açúcar, a soja, milho, algodão, laranja, mandioca e arroz (RIBEIRO, 2020). Um esquema da etapa de geração de energia e vapor de uma termoeletrica movida a bagaço de cana-de-açúcar foi demonstrado por (SANTOS, 2019), conforme figura 1:

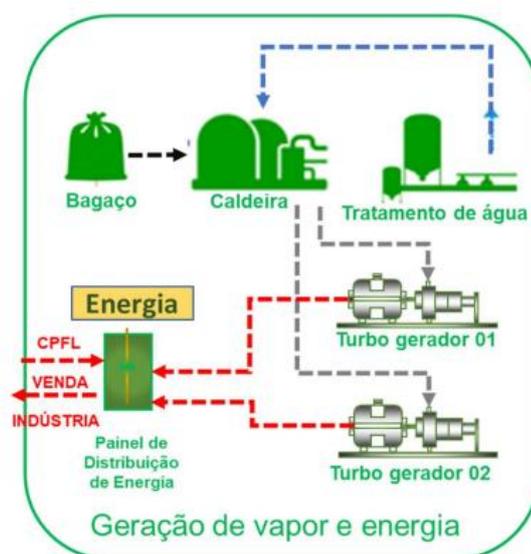


Figura 1 - Fluxograma simplificado de geração de vapor e energia elétrica (SANTOS, 2019)

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 8,76 % da capacidade instalada na matriz de energia elétrica no Brasil é dada a partir do uso de biomassas no ano de 2021, conforme demonstrado na figura 2. A distribuição da geração de energia elétrica a partir das biomassas é de 76,21 % para o bagaço da cana-de-açúcar seguida pelo licor negro, oriundo do processo de produção da indústria de papel e celulose com 16,04 %, 3,81 % de resíduos florestais, 0,34 % para a casca de arroz e 0,24 % através do carvão vegetal.

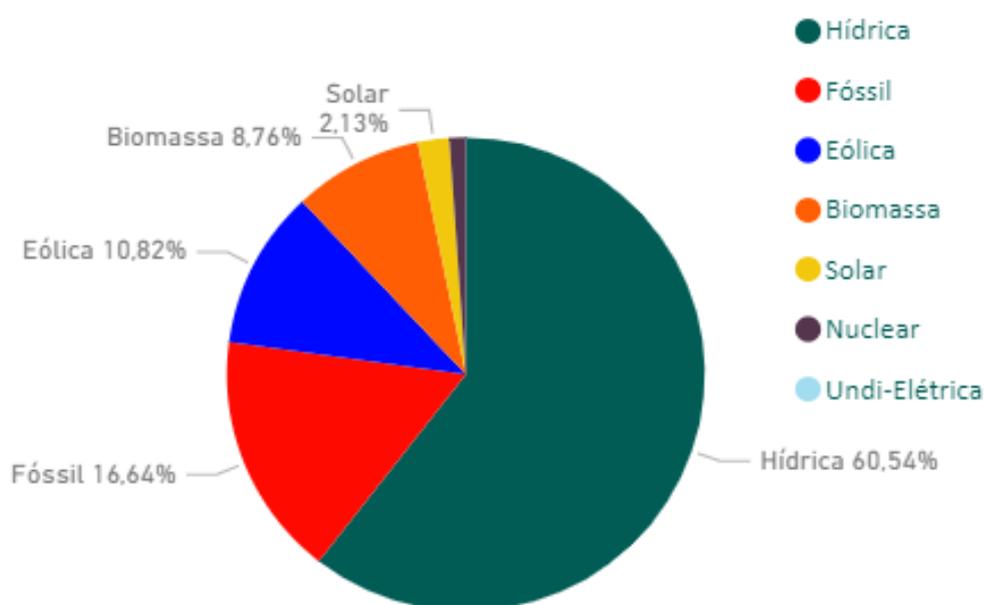


Figura 2 - Matriz por origem de combustível (ANEEL, 2021)

Na busca por fontes alternativas de biomassa para a geração de energia elétrica, os principais fatores que devem ser considerados e avaliados estão relacionados com a condição da redução dos custos de transporte e estocagem da matéria-prima (CARMO, 2013). Dessa forma, podem-se avaliar fontes de biomassas que já tenham os seus custos de transporte absorvidos por outros produtos, como geralmente acontece no caso dos alimentos, por exemplo, o bagaço de coco verde, que já teve o seu custo de transporte da matéria-prima.

2.4 Formulação das técnicas de medidas de temperatura de chamas e conteúdo de gases alcalinos

A intensidade da radiação emitida por uma chama no comprimento de onda λ depende da emissividade da chama $\epsilon(\lambda)$ e da temperatura T de acordo com a Lei de Planck, conforme equação 1:

$$I(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} \quad (1)$$

Em que:

h é a constante de Planck;

c é a velocidade da luz;

k é a constante de Boltzmann.

A partir da faixa de comprimento de onda de 300 a 1000 nm e temperatura entre 800 a 2000 K, uma vez que $hc / \lambda kT \gg 1$, a Lei de Planck pode ser substituída pela Lei de Radiação de Wien (JIANG, 2009):

$$I(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} \right)} = \varepsilon(\lambda) I_b(\lambda, T) \quad I(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} \right)} = \varepsilon(\lambda) I_b(\lambda, T) \quad (2)$$

Em que:

$I_b(\lambda, T)$ é a intensidade monocromática da radiação do corpo negro.

O princípio de julgar a propriedade cinzenta das chamas baseia-se na análise espectral e no método de duas cores para determinar a temperatura e a emissividade de uma chama descrita em (SUN, 2011).

O sistema espectrométrico consegue obter a intensidade de radiação monocromática acima da faixa de comprimento de onda de operação do espectrômetro de 200 a 1100 nm. A saída do sistema espectrométrico e sistema de imagem de chama é um valor de tensão convertido do sinal de radiação através da conversão fotoelétrica.

Com base no pressuposto de uma emissividade constante no comprimento de onda λ e $\lambda + \Delta\lambda$, segundo (YAN, 2013) a temperatura T é dada por:

$$T = -C_2 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda + \Delta\lambda} \right) / \ln \left[\frac{I(\lambda, T)}{I(\lambda + \Delta\lambda, T)} \frac{\lambda^5}{(\lambda + \Delta\lambda)^5} \right] \quad (3)$$

Após a temperatura T ser obtida, a emissividade $\varepsilon(\lambda)$ pode ser encontrada através da equação 4 (YAN, 2013):

$$\varepsilon(\lambda) = I(\lambda, T) / I_b(\lambda, T) \quad (4)$$

Utilizando os dados espectrométricos, uma vez que a faixa de comprimento de onda da propriedade cinza é determinada como demonstrado por (SUN, 2011), a temperatura quase constante calculada através do método de duas cores nessa faixa de comprimento de onda pode ser tomada como temperatura a ser medida, bem como a média emissividade calculada a partir da equação (4).

Além disso, para o sistema de detecção de chamas, a temperatura T pode ser calculada a partir da razão de duas imagens de intensidade monocromática I_r e I_g pelo método de duas cores conforme equação 5 (YAN, 2013):

$$T = -C_2 \left(\frac{1}{\lambda_r} - \frac{1}{\lambda_g} \right) / \ln \left[\frac{I(\lambda_r, T) \lambda_r^5 \varepsilon_r}{I(\lambda_g, T) \lambda_g^5 \varepsilon_r} \right] \quad (5)$$

Para cálculos de temperatura, o intervalo de comprimento de onda $\Delta\lambda$ na equação (5) deve ser curto para tornar a variação da emissividade média muito menor. Essa é a condição ideal para a aplicação do método duas cores para obter perfis de temperatura confiáveis.

Se o comprimento de onda central λ_r e λ_g estiverem dentro da faixa de comprimento de onda atendendo à propriedade cinza deduzida do método de análise espectral utilizando o equipamento espectrômetro é razoável definir $\varepsilon_r / \varepsilon_g \approx 1$, desta forma a temperatura da imagem da chama pode ser calculada a partir da equação (5). A imagem de emissividade da chama ε pode ser calculada a partir de dados monocromáticos de intensidade de imagem através da equação 6 (YAN, 2013):

$$\varepsilon = I_r \pi \lambda_r^5 / (C_1 e^{-C_2 / \lambda_r T}) \quad (6)$$

A fim de se estimar as concentrações de alcalinos nos gases da combustão um procedimento de calibração se faz necessário. Conforme demonstrado por (LOU, 2017) em sua patente, por meio de um nebulizador, concentrações já conhecidas de solução salina foram pulverizadas em condições operacionais com temperatura de chama conhecida e controlada. Através de um espectrômetro foram feitas medições

das intensidades de irradiação em unidades de energia das linhas de emissão características do metal alcalino. Considerando todas as medições realizadas durante a calibração, o resultado é a função f que melhor aproxime a expressão na equação 7:

$$I = f(C, T) \quad (7)$$

Em que:

C é a concentração do metal alcalino gasoso na chama;

T é a temperatura estimada da chama;

I é a intensidade de irradiação medida pelo espectrômetro.

A concentração dos gases alcalinos na chama é calculada com base na concentração da solução e nas condições operacionais de vazão, pressão e temperatura ambiente. Realizada esta calibração, ao se obter um espectro de chama de um experimento se estimou a temperatura utilizando o método das duas cores, obteve-se no espectro a intensidade de irradiação para o comprimento de onda característico do elemento químico e , usando a função obtida na calibração tem-se à concentração do metal alcalino.

A função f de calibração utilizada por (LOU, 2017) para estimar a concentração de gases alcalinos é a função polinomial descrita na equação 8:

$$I = \sum_{0}^{m} \sum_{0}^{n} a_{mn} C^m T^n \quad (8)$$

Sendo:

C a concentração do metal alcalino gasoso na chama;

T a temperatura estimada da chama;

I a intensidade de irradiação medida pelo espectrômetro;

a_{mn} são obtidos utilizando o método do mínimo quadrado aplicado aos dados obtidos na calibração.

Um esquema da montagem experimental utilizada para calibração do software que estima a concentração de elementos químicos com base nos espectros eletromagnéticos obtidos com o espectrômetro é demonstrado na figura 3:

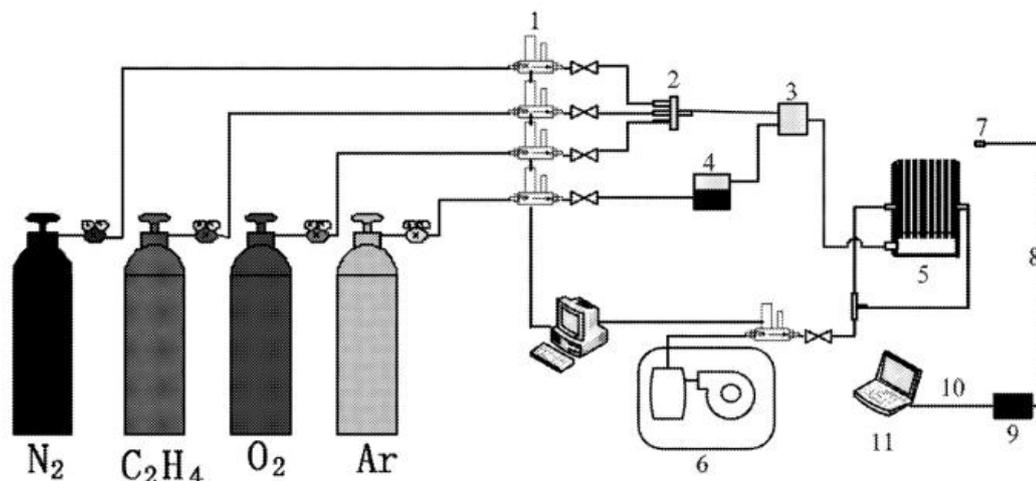


Figura 3 - Esquema experimental de calibração para estimativa de gases alcalinos (LOU, 2017)

Conforme esquema apresentado na figura 3, o etileno (C_2H_4), o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2) são misturados em (3) em quantidade de massa controlada pelo controlador de fluxo de massa (1) e em pressões controladas por válvulas reguladoras de pressão. O argônio (Ar), também com pressão e vazão de massa controlada, é utilizado para transportar a solução de gás alcalino vaporizada pelo atomizador (4) por meio de ondas ultrassônicas. A solução salina vaporizada é misturada junto com os demais gases provenientes dos cilindros em (3) e a mistura homogênea é encaminhada para a tubulação do queimador (5). O Ar é fornecido para o queimador por compressor em (6) com pressão e vazão de massa controlada. A sonda contendo a lente colimadora (7), cabo de fibra ótica (8), o corpo do espectrômetro (9) e um computador (11) para armazenamentos dos espectros eletromagnéticos coletados, completam o sistema de calibração desenvolvido por (LOU, 2017).

Os gases gerados pela chama produzida pelo queimador do sistema de calibração demonstrado na figura 3, terão concentração de alcalinos variando conforme os parâmetros operacionais de vazão mássica dos reagentes e demais gases injetados no queimador. Os picos de intensidade de irradiação nos comprimentos de onda característicos do alcalino medidos pelo espectrômetro, são necessários para a determinação dos coeficientes de calibração (a_{mn}).

Durante a calibração são utilizadas soluções salinas com diferentes teores de gases alcalinos, mantendo-se constante a temperatura por meio da manutenção das vazões mássicas de combustível e comburente. A temperatura é estimada por meio

do método das duas cores a partir dos espectros eletromagnéticos capturados pelo espectrômetro. A relação entre a concentração de gás alcalino na solução em ppm (C_s) e a concentração vaporizada na chama (C_{vc}) é apresentada pela equação 9 (LOU, 2017).

$$C_{vc} = \frac{f_m C_s v_s}{M} \frac{R \cdot T_r}{P(v_{O_2} + v_{N_2} + v_{C_2H_4})} \quad (9)$$

Sendo:

C_{vc} a concentração de potássio vaporizado na chama (ppm);

f_m a fração molar do potássio no soluto (%) (*);

C_s a concentração do soluto (ppm);

v_s a vazão mássica da solução (g/s);

M a massa molar do potássio (g/mol);

R a constante dos gases ideais (atm L / mol K);

T_r a temperatura ambiente (K);

P é a pressão (atm);

v_{O_2} , v_{N_2} e $v_{C_2H_4}$ são as vazões volumétricas dos gases oxigênio, nitrogênio e etileno (L/s);

(*) corresponde ao percentual de gás alcalino misturado à água da solução vaporizada e ao argônio.

2.5 Uma visão do estado da produção e descarte de resíduo de coco urbano no Brasil e no município de Santos

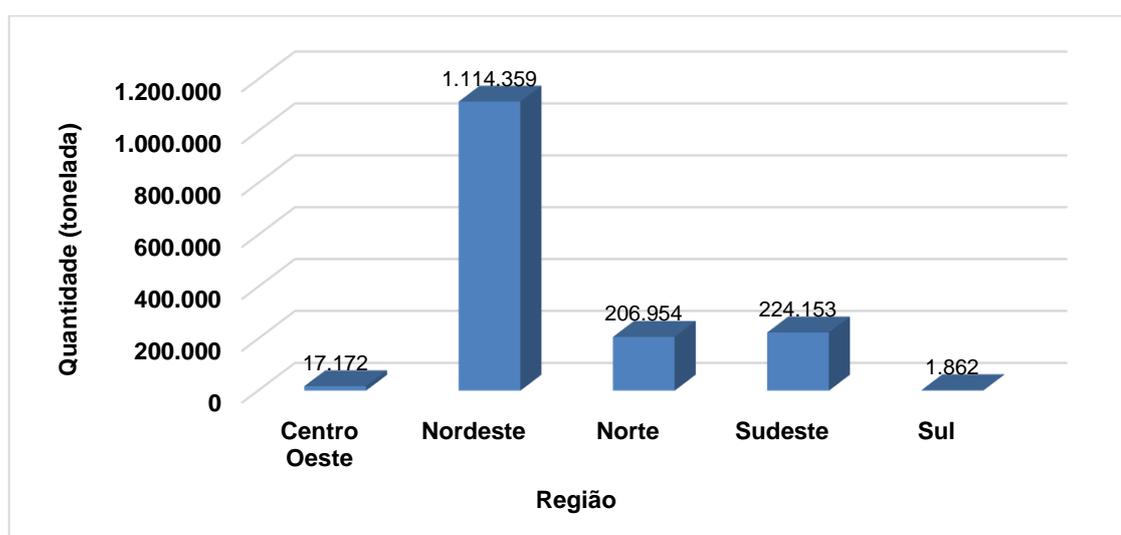
No Brasil, o coqueiro é cultivado em todas as regiões tropicais. É uma frutífera nativa provavelmente do litoral norte e nordeste do país (LORENZI, 2006). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2018 o país produziu um total de 1.564.500 milhão de toneladas de coco, para uma área total colhida de 198.715 mil hectares. Valores de quantidade produzida de coco por região são fornecidos a seguir:

Tabela 1 - Produção de coco por região - (IBGE, 2018)

REGIÃO	PRODUÇÃO (TONELADA)
Centro Oeste	17.172
Nordeste	1.114.359
Norte	206.954
Sudeste	224.153
Sul	1.862
Total:	1.564.500

Para termos de comparação, cerca de 71% da produção total de coco no Brasil em 2018 são oriundos do Nordeste, região com maior capacidade produtora do país devido às condições edafoclimáticas favoráveis em suas zonas litorâneas.

Observando a figura 4 é possível notar essa grande discrepância das demais regiões com o Nordeste:

**Figura 4 - Produção de coco por região - (IBGE, 2018)**

A Região Metropolitana da Baixada Santista é integrada por nove municípios:

Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente, ao todo somam um total de 1.897.551 milhão de habitantes segundo estimativa populacional (IBGE, 2021). De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) referente ao ano de 2018, os nove municípios da Baixada Santista produzem em média cerca de 1.631,9 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia. Levando-se em conta a estimativa populacional (IBGE, 2021), que estipulou em 1.897.551 milhão o número total de habitantes residentes na Baixada Santista (população que chega a triplicar em períodos de temporada de verão), a geração de resíduo per capita é de quase 1 kg/hab/dia.

De acordo com os dados do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos (2018), o aterro sanitário Sítio das Neves, localizado na área continental do município de Santos, recebe cerca de 1.552,26 mil toneladas diárias de resíduos sólidos oriundos de oito das nove cidades da região, o que equivale a uma quantidade de aproximadamente 222 caminhões coletores de lixo urbano totalmente carregados, considerando que cada veículo suporta uma carga de 7 toneladas em sua caçamba. Apenas Itanhaém que envia seus resíduos para a cidade de Mauá não entra nesse cálculo.

2.6 Métodos e práticas comuns para a utilização do bagaço de coco verde

O bagaço de coco verde é um subproduto do consumo e da industrialização da água de coco e tem se tornado um problema ambiental nos grandes centros urbanos, seja encaminhando seus resíduos para aterros sanitários ou depositando às margens de estradas, praias, lotes vagos entre outros.

A água do coco verde representa, aproximadamente, 25 % do peso do fruto, ao passo que a quantidade de água por fruto é de cerca de 400 ml (CABRAL, 2005). A casca de coco verde é um material de difícil decomposição que leva de oito a dez anos para se decompor no meio ambiente (BITENCOURT, 2008). Sendo assim, a utilização do bagaço de coco verde processada além de ter uma importância econômica e social é também muito vantajosa do ponto de vista ambiental.

Cada vez mais a busca de formas para reutilização desses resíduos é motivo de estudos e debates na sociedade. A fibra do coco maduro já é utilizada na agricultura e na indústria na fabricação de cordas, tapetes, chapéus e assentos de veículos (CASTILHOS, 2011). Já a casca de coco verde dispõe de fibras de alta

porosidade, são quase inertes e possuem baixo aproveitamento, entretanto podem ser utilizadas como matéria prima na produção de vasos e substratos para a produção de mudas ou em cultivos sem a utilização do solo (CASTILHOS, 2011).

A facilidade de produção, baixo custo e grande disponibilidade são vantagens adicionais apresentadas pelo coco verde. Porém, para a obtenção da fibra e seu uso, o fruto passa por algumas operações como corte, desfibramento, lavagem, trituração e secagem.

Um estudo acerca da utilização de fibras de coco verde para o reforço de materiais, isolante térmico e acústico, cobertura morta, mistura com asfalto, produção de mantas e retentores de sedimento, confecção de vasos, placas e bastões, artesanato e produção de briquetes foi demonstrado por (MATTOS, 2011). De acordo com (VALE, 2007), os resíduos de coco verde podem servir como matriz polimérica. Telhas ecológicas segundo (PASSOS, 2005) e produção de papel em estudo realizado por (PRADO, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características gerais do fruto coco

O coqueiro é considerado a árvore da vida dada a enorme gama de produtos e subprodutos que podem ser obtidos da planta. O fruto de origem asiática é chamado cientificamente de *Cocos Nucifera* L. Conhecido popularmente no Brasil como coco da baía o fruto é constituído por albúmen líquido (água de coco), albúmen sólido (polpa), endocarpo (a parte rígida que protege a polpa) e a casca. A casca de coco é formada pelas fibras (70 %), que constituem o mesocarpo do fruto, pelo pó (30 %), que é o material de preenchimento dos espaços interfibrilares e pelo epicarpo (casca externa) demonstrado na figura 5:

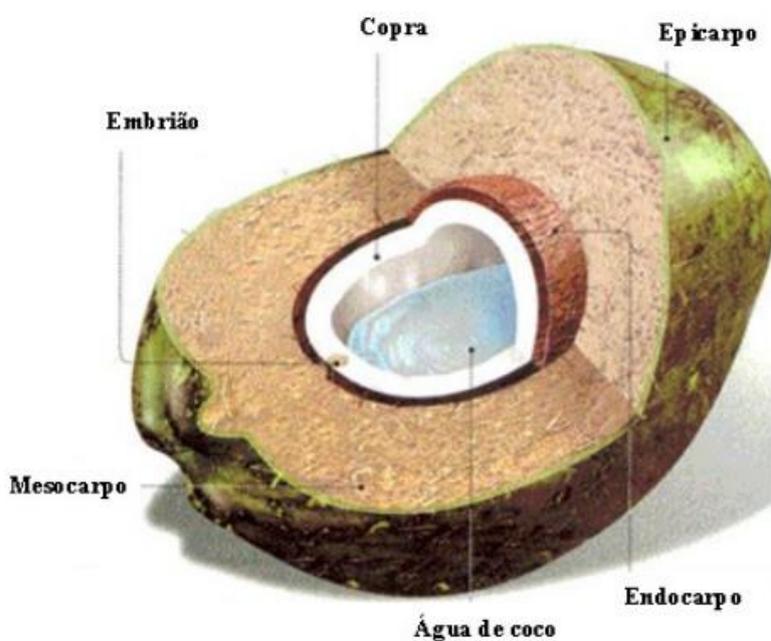


Figura 5 - Características gerais do coco verde - (MATTOS, 2011)

Em seu estado natural a água é estéril (sem presença de microrganismos, fungos, bactérias etc.) e é utilizada como isotônico natural. O coco verde possui maior quantidade de líquido que o maduro, ou coco seco. O sabor da água de coco é doce e levemente adstringente e suas características são influenciadas principalmente pela variedade e o estágio de maturação do fruto, bem como pelas práticas agrônômicas que são empregadas nas lavouras de produção (adubação, irrigação etc.) e pelas condições climáticas.

O coqueiro é uma planta da família *Palmae* (palmeira) introduzida no Brasil em 1553 pelos portugueses (GOMES, 2007). É uma planta de clima tropical, precipitações de chuva acima de 1.500 mm bem distribuídas e insolação em torno de

2000 horas são considerados como cenário ideal para uma produtiva reprodução do fruto. Temperaturas abaixo de 17 °C afetam o desenvolvimento da planta e a altitude também é um fator limitador para a produção.

Segundo (MARTINS, 2014), três são os tipos de coqueiros produzidos no Brasil representados pelas seguintes características:

- 1) Coqueiro gigante: planta de porte alto que pode atingir cerca de 35 metros de altura. Sua principal finalidade é o fornecimento de polpa (copra) para a indústria de derivados de coco (coco ralado e leite de coco). Inicia sua produção a partir de seis anos e meio pós plantio e tem a produção média de 70 frutos/planta/ano.
- 2) Coqueiro anão: planta de porte baixo que chega a atingir 12 metros de altura, utilizado para atendimento do consumo de água de coco in natura ou envasada. Inicia a produção a partir de dois anos e meio de vida, produz 120 frutos/planta/ano com capacidade de alcançar a produção de 250 frutos através da utilização de sistemas irrigados.
- 3) Coqueiro híbrido: planta de porte intermediário, atingindo cerca de 20 metros de altura com dupla finalidade de fornecimento de polpa e água para a indústria. Sua produtividade alcança de 120 a 150 frutos/planta/ano, com início de produção aos quatro anos após seu plantio.

3.2 Características físico-química e análises da composição química do bagaço de coco

Um estudo acerca das características de combustão de resíduos sólidos da região nordeste utilizando análise termogravimétrica foi realizado por (LIRA, 2014). A tabela 2 ilustra os resultados da caracterização físico-química do bagaço de coco verde e a tabela 3 a caracterização química das cinzas do bagaço de coco verde, segundo resultados encontrados pelos pesquisadores.

Tabela 2 - Caracterização físico-química do bagaço de coco verde - (LIRA, 2014)

AMOSTRA	BAGAÇO DE COCO VERDE
Umidade *	11,97
Material volátil *, a	75,31
Cinzas *,a	7,23
Carbono fixo *,a	17,46
PCS ^b	17,00

*% m/m. ^abase seca e livre de cinzas. ^bcalculado [MJ.kg^{-1}].

Tabela 3 - Caracterização química das cinzas do bagaço de coco verde - (LIRA, 2014)

COMPOSIÇÃO DAS CINZAS	BAGAÇO DE COCO VERDE
SiO₂	33,814
K₂O	5,111
CaO	43,415
P₂O₅	< LD.
SO₃	3,573
Fe₂O₃	13,141
MnO	0,122
TiO₂	0,077
Cr₂O₃	< LD.
ZnO	0,189
CuO	0,066
V₂O₅	0,480
NiO	< LD.
B/A(+P)	1,54

*% m/m. L.D. – Limite de detecção.

Observa-se que o teor de material volátil encontrado no valor de 75,31% é elevado, o que indica uma possível combustão rápida da biomassa. Através da análise dos resultados da composição química das cinzas, nota-se que os principais elementos inorgânicos são Si, Ca, K e Fe, tendo o material apresentado valores elevados de sílica.

Outro estudo mais recente (MARAFON, 2019), que trata sobre o aproveitamento de coco verde para geração de energia térmica, também revelou

resultados referente a caracterização físico-química da casca de coco verde, conforme tabela 4:

Tabela 4 - Caracterização físico-química da casca de coco verde e do endocarpo do coco seco - (MARAFON, 2019)

CARACTERÍSTICA	CASCA (FIBRA + PÓ)	ENDOCARPO
Carbono (%)	43,3	48,7
Hidrogênio (%)	5,35	5,56
Nitrogênio (%)	0,46	0,34
Relação C/N	94,1	143,2
Celulose (%)	35,52	42,91
Hemicelulose (%)	33,41	16,76
Lignina (%)	22,28	30,95
Cinzas (%)	7,70	1,31
PCS ⁽¹⁾ (kcal kg ⁻¹)	4.358	4.784
PCI ⁽²⁾ (kcal kg ⁻¹)	4.059	4.484
Densidade básica (g.cm ⁻³)	0,186	0,922
Densidade energética (Mcal.m ⁻³)	811	4.411

⁽¹⁾PCS: poder calorífico superior; ⁽²⁾PCI: poder calorífico inferior.

Os resultados indicam que tanto a casca quanto o endocarpo do coco apresentam elevada relação C/N, o que reflete em um elevado tempo de decomposição natural desses materiais. O endocarpo apresenta maior relação C/N (143,2) do que o mesocarpo (94,1), justificável pelas maiores concentrações de celulose (42,91 %) e de lignina (30,95 %) em sua constituição. Entretanto, nota-se que os teores de hemicelulose encontrados na casca (33,41 %) foram superiores aos do endocarpo (16,76 %).

Um estudo realizado por (VAN DAM, 2006) demonstrou que a utilização de coco para finalidades energéticas torna-se atraente por suas elevadas proporções de celulose (35 a 47 %), hemicelulose (15 a 28 %) e lignina (16 a 45 %) e pelos baixos teores de cinzas (2,7 a 10 %).

A densidade energética da casca (810,6 Mcal m⁻³), produto entre o PCS e a Densidade Básica (Db) foi inferior à do endocarpo (4.411 Mcal m⁻³), o que resulta na necessidade de adensamento desse material visando reduzir despesas com frete e

estocagem. Além disso, o teor de cinzas da casca de coco (7,7 %) é significativamente superior ao do endocarpo (1,31 %), causando diminuição do PCS.

Observa-se que a casca de coco apresentou PCS ($4.358 \text{ kcal kg}^{-1}$) valor inferior ao do endocarpo ($4.784 \text{ kcal kg}^{-1}$), no entanto, de acordo com (DEMIRBAS, 2004) o que definirá a eficiência do processo de conversão da biomassa em calor será o grau de umidade de cada um desses materiais quando em combustão.

Um estudo acerca de biomassas, incluindo o coco e seus impactos na estrutura lignocelulósica através de simulação termogravimétrica (CHEN, 2010), revelou que, de modo geral, a curva termogravimétrica divide-se em três fases. A primeira (temperaturas $\leq 200 \text{ }^\circ\text{C}$) caracterizada por uma ligeira perda de massa ($\leq 10 \%$) em função da secagem e da liberação de voláteis. A segunda (temperaturas na faixa de 200 a $500 \text{ }^\circ\text{C}$), quando ocorre a decomposição térmica da hemicelulose, da celulose e da lignina com diminuição significativa da massa ($\geq 40 \%$). A terceira fase (temperaturas $\geq 500 \text{ }^\circ\text{C}$) com a decomposição de componentes de alto peso molecular.

3.3 Câmara de combustão tubular

Os experimentos para coleta dos espectros de combustão da biomassa de coco verde foram realizados em câmara de combustão do tipo tubular apresentado na figura 6. O equipamento foi construído utilizando tubos de aço inox de 100 mm de diâmetro com chama produzida por bico Bunsen do tipo Meker e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). O tubo inferior tem comprimento de 120 mm e uma grelha na parte superior para retenção da biomassa. Furos longitudinais no tubo superior com diâmetro de 10 mm e distância entre centros de 15 mm permitiram a inserção da lente do espectrômetro para coleta dos dados espectrais.

Através da queima de biomassa de coco verde na câmara de combustão tubular por processo realizado em lote, utilizando pequenas amostras que variaram entre 2 e 3 g foi possível obter os espectros de chama.



Figura 6 - Câmara de combustão tubular

A figura 7 ilustra um desenho esquemático da câmara de combustão tubular. À esquerda, vista lateral dos tubos de aço inox com os furos para inserção da sonda do espectrômetro e indicação da posição da grelha. À direita, vista superior da grelha.

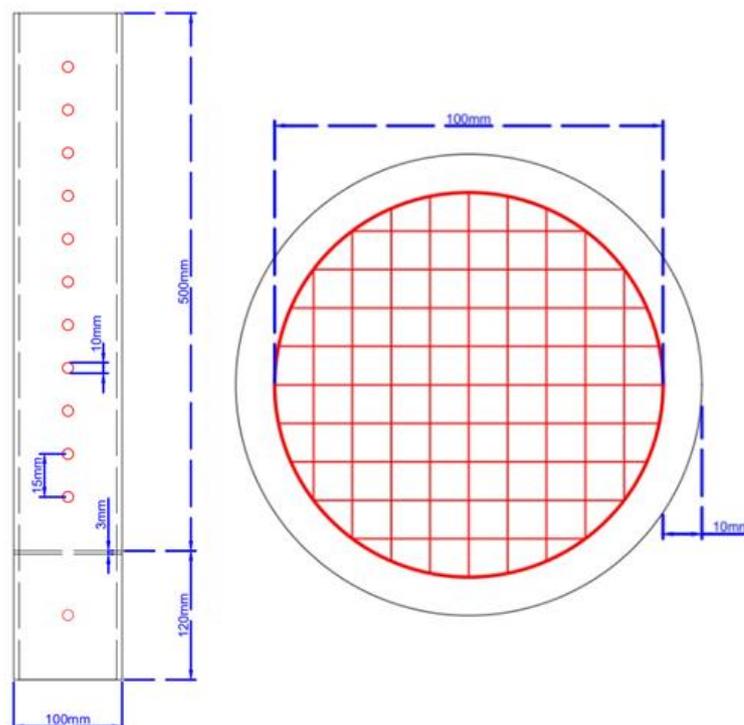


Figura 7 - Desenho esquemático da câmara de combustão tubular

3.4 Sistema de espectrometria

O sistema de espectrometria consiste em um espectrômetro, uma sonda medidora e um computador portátil. Um espectrômetro do tipo AvaSpec-USB2048 de fibra óptica com 2048 pixels foi utilizado para processar os dados de luz recebidos. A faixa de comprimento de onda de medição do espectrômetro foi de 200 nm a 1100 nm. A resolução espectral deste espectrômetro é de 0,4 – 0,6 nm. A sonda de medição consiste em uma lente colimadora e um cabo de fibra óptica. A lente colimadora COL-UV/vis é aparafusada na extremidade do conector de entrada de fibra óptica e converte o feixe divergente de radiação em um feixe paralelo. O espectrômetro está conectado a um computador portátil através de um cabo USB e interface AvaSoft-8 USB2. Nos experimentos relatados neste trabalho, o tempo de exposição (integração) foi de várias centenas de milissegundos, o que significa que a medição de radiação se intensificou em diferentes comprimentos de onda simultaneamente pelo espectrômetro. A figura 8 ilustra um esquema do sistema de espectrometria utilizado para coletar intensidades espectrais a todo segundo de chamas geradas pela queima de biomassa de coco verde através da porta de visualização da câmara de combustão tubular.



Figura 8 - Aparato para realização experimental da queima de biomassa e sistema de espectrometria

3.5 Sistema de imagens térmicas

O sistema consiste em uma câmera *Charge-Coupled Device (CCD)* colorida, uma lente objetiva com um ângulo de captação de 90° na direção horizontal fixada na extremidade superior da câmera CCD e um computador notebook com um captador de quadros (digitalizador de vídeos). A radiação da chama transportada pela lente entra na câmera CCD colorida e a velocidade do obturador da câmera colorida é

ajustável de 1/120 a 1/10000 s. O sinal de vídeo da câmera CCD é transferido para o computador através de um cabo de vídeo. Um captador de quadros USB transforma o sinal analógico da câmera CCD em uma imagem digital colorida bidimensional com cor. Em função dos ruídos existentes na captura dos sinais de imagens pela câmera CCD, para identificar as características dos sinais obtidos o sistema realiza a maior quantidade de leituras possíveis durante os experimentos.

Combinado com um notebook DELL D630, o sistema fornece uma taxa de quadros de 24 quadros/s com uma cor verdadeira de 24 bits. Todas as imagens de cores da chama são salvas como um arquivo RGB Windows Bitmap (BMP) de 24 bits. A lente objetiva e a câmera CCD foram embaladas por uma concha de aço. Um esquema do sistema de imagem portátil é demonstrado na figura 9:

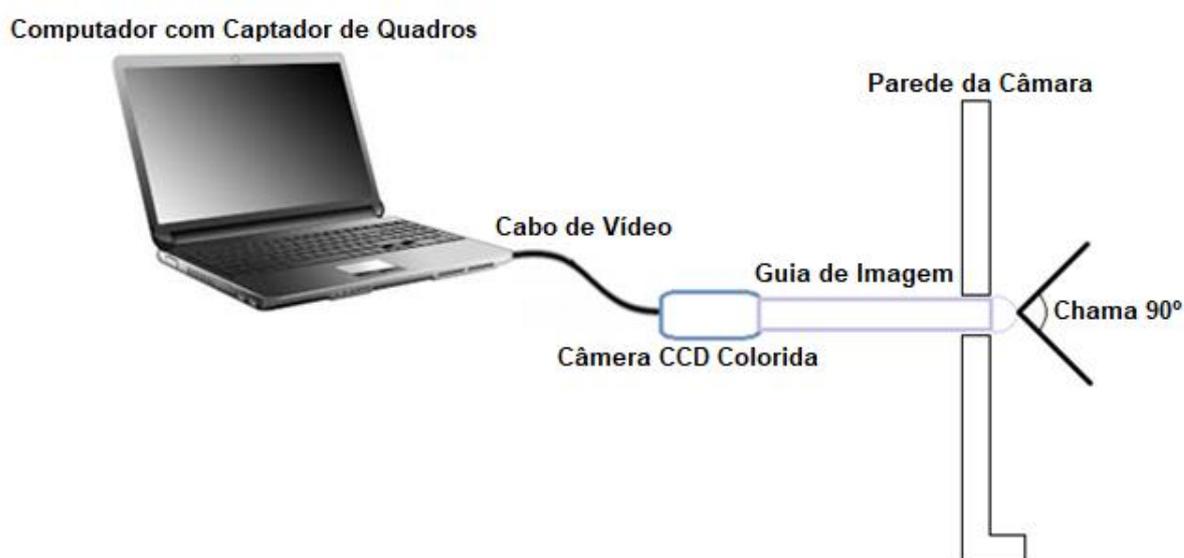


Figura 9 - Sistema de aquisição de imagem

3.6 Procedimento experimental

Os bagaços de coco verde utilizados nos experimentos de combustão foram coletados em um quiosque de comercialização de água de coco localizado na orla da praia do município de Santos.

3.6.1 Pré-tratamento dos cocos verdes

O material foi encaminhado para o laboratório de mecânica dos solos da Universidade Santa Cecília onde passou por etapas de preparação anterior a realização do processo de combustão. Primeiramente os cocos foram abertos ao meio

e logo após retirado sua polpa, conforme observa-se na figura 10 (a). Quatro carcaças de coco foram pesadas e utilizadas como exemplo para após a realização do esmagamento em prensa hidráulica quantificar em peso o total retirado de líquido do material. A figura 10 (b) demonstra o valor encontrado após pesagem preliminar. Na sequência os cocos foram esmagados em prensa hidráulica com o intuito de reduzir parcialmente a umidade e facilitar a trituração. A figura 10 (c) ilustra o equipamento utilizado e a figura 10 (d) o momento em que a prensa realiza o esmagamento da amostra. Na figura 10 (e) é possível observar o aspecto das fibras e do endocarpo do coco verde posterior ao esmagamento. Por fim, na figura 10 (f) o valor em quilogramas do resultado da pesagem dos quatro cocos após serem prensados:



Figura 10 - Etapas de preparação das amostras de coco verde

3.6.2 Trituração

A trituração é um pré-requisito para diversos processos de reaproveitamento de produtos, dentre eles se destaca a utilização da biomassa para fins energéticos. Este processo é necessário quando se deseja reduzir de tamanho a biomassa para dimensões na faixa de 5–20 mm, proporcionando uma melhor alimentação na fornalha com aumento significativo da área do combustível. O processo de trituração pode ser realizado de diversas maneiras: compressão, impacto por compressão, desgastes nas arestas (“nibbling”), impacto, abrasão, raspagem (“shredding”), sendo que a forma e distribuição do produto variam com o tipo de biomassa e o tipo de equipamento utilizado.

Neste trabalho, os cocos verdes foram encaminhados para o laboratório de combustão da Universidade Santa Cecília onde foram desfiados manualmente, pois dada a quantidade necessária de biomassa para a realização dos experimentos, não se fez necessário a utilização de um equipamento para a trituração dos cocos. Observando a figura 11 é possível verificar o material desfiado:



Figura 11 - Coco verde desfiado

3.6.3 Secagem

O processo de secagem de biomassas pode ser realizado das seguintes maneiras: ao ar livre e através de estufas ou secadores. As principais vantagens da secagem ao ar livre são:

- 1) Economia;
- 2) Simplicidade;
- 3) Uso de energia natural.

As principais vantagens da secagem com estufa ou secador são:

- 1) Redução do período de secagem;
- 2) Maior controle sobre os defeitos de secagem;
- 3) Possibilidade de eliminar ataques de fungos e insetos;
- 4) Redução da umidade da biomassa a teores pré-determinados em qualquer época do ano;
- 5) Dispensar a utilização de grandes pátios necessários para secagem natural de grandes volumes de biomassa.

A escolha do tipo de secagem está em função de variáveis como umidade da biomassa, tempo de secagem previsto, espaço físico disponível e capital.

Para a secagem do bagaço de coco verde apresentado neste trabalho foi optado pela utilização de um forno que serviu como secador. Foi utilizado como fonte combustível do forno o Gás Liquefeito de Petróleo, que é uma mistura de hidrocarbonetos compostos de três e quatro átomos de carbono (GARCIA, 2013). O equipamento tem as seguintes características:

- a) Forno: tipo túnel movido a gás combustível e óleo diesel. Modelo *Industrial Burner (nozzle-mix)*;
- b) Dimensões: área transversal de 0,7 m x 0,7 m e comprimento de 4,2 m;
- c) Revestimento interno das paredes: Mulcorita (RPA-MC30);
- d) Termopares instalados nas paredes para medir a temperatura dos refratários.

A figura 12 ilustra imagem do equipamento utilizado na etapa de secagem da biomassa de coco verde:



Figura 12 - Forno tipo túnel movido a gás GLP e óleo diesel

O processo de secagem da biomassa foi introduzido para remover a massa de água contida promovendo a sua evaporação por transferência de calor, diminuindo o teor de umidade contido na biomassa. Ar foi utilizado para transferir o calor da fonte quente para a biomassa úmida. O calor foi transferido do ar para a biomassa por diferença de temperatura. O calor transferido para a biomassa é utilizado para vaporizar a água e a diferença de pressão parcial de vapor d'água existente entre o ar e a superfície da biomassa determina uma transferência de água para o ar. Um fluxograma esquemático do processo é demonstrado na figura 13:

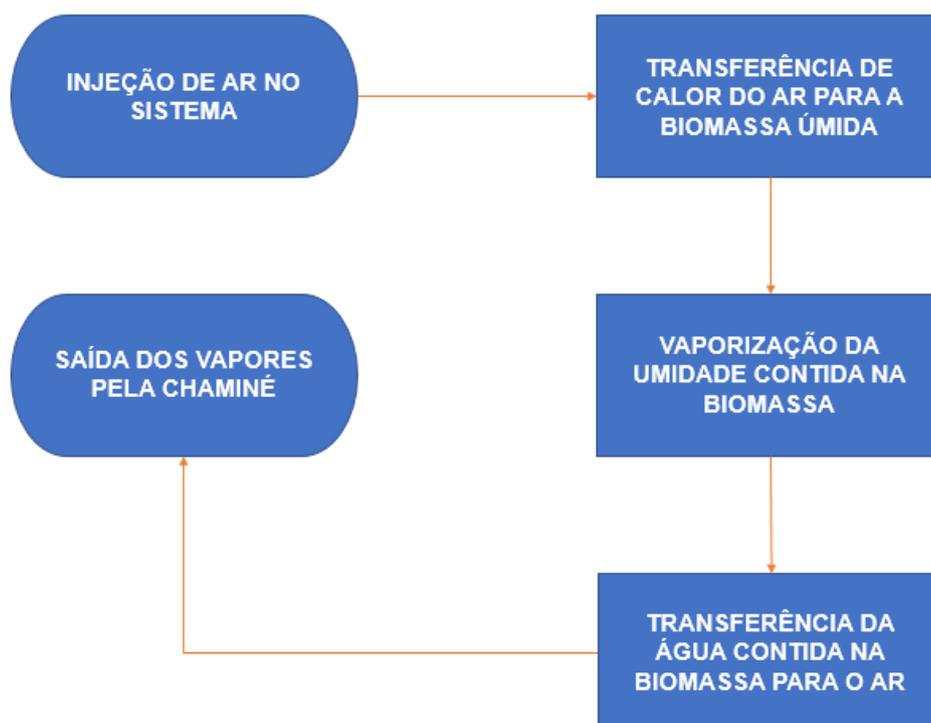


Figura 13 - Fluxograma esquemático do processo de secagem de biomassa de coco verde

Para a realização da secagem do bagaço primeiramente o forno foi aquecido a uma temperatura de 800 K. Em seguida o forno foi desativado e a biomassa inserida em sua parte interna. Na sequência o equipamento foi lacrado e mantido desligado para secagem do bagaço por um período de aproximadamente vinte e quatro horas. Através da figura 14 é possível observar o material na parte interna do forno após etapa de secagem:



Figura 14 - Secagem de biomassa de coco verde

A figura 15 (a) demonstra o epicarpo e o mesocarpo e a figura 15 (b) o endocarpo após etapa de secagem:



Figura 15 - Amostras de epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde

Em tentativa preliminar de secagem do coco verde não foi possível obter êxito ao inseri-los dentro do forno em funcionamento. Ao observar a figura 16 é possível notar que os cocos não foram desfiados, apenas partidos ao meio, o que fez com que diminuísse a área de contato com o calor gerado pelo forno e torrassem as faces viradas para cima acarretando em um aspecto queimado e total perda do material.



Figura 16 - Carcaças de coco verde partidas ao meio torrefadas

Outra maneira de secagem foi optada e realizado nova tentativa. Desta vez foi inserido o material partido ao meio dentro do forno já aquecido e desligado. O resultado foi promissor como observa-se nas figuras 17 (a) e (b), mas não tão satisfatório quanto com o coco já desfiado e o forno também pré-aquecido e desligado.



Figura 17 - Amostras de coco verde torrefadas

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estimativa do potencial energético do coco verde descartado na Baixada Santista

Uma pesquisa de campo foi realizada pelo autor dessa obra em quiosques e carrinhos da faixa de areia nas praias dos municípios da baixada santista com o objetivo de estimar o potencial energético de resíduos de coco verde descartados na região. O procedimento utilizado para coleta dos dados é descrito nas etapas a seguir:

- 1) Foi optado pela realização da pesquisa em dias com alta temperatura e de sol sem nuvens a fim de obter o maior número de estabelecimentos em funcionamento;
- 2) A pesquisa foi realizada sempre nos seguintes dias da semana: sextas, sábados, domingos ou feriados, cada final de semana ou emenda de feriado nas praias de um município;
- 3) Período de não restrição ao público devido à pandemia causada pelo corona vírus com acesso e permanência permitidos para utilização das praias pelo público;
- 4) Foi realizado a pesquisa em todos os estabelecimentos encontrados em funcionamento e os comércios fechados ou desativados não foram considerados no cálculo.

A fim de evitar a apreensão dos comerciantes em supor que o autor da pesquisa tinha a intenção de identificar a viabilidade do comércio de coco verde para entrar no ramo de negócio, o entrevistado era informado de que se tratava de uma pesquisa científica acadêmica para obtenção de dados para uma dissertação de mestrado. Se necessário ainda, para uma maior probabilidade e confiabilidade nas respostas em determinados casos foi mostrado a carteira de matrícula do curso. Um questionário foi elaborado e está descrito no Apêndice A desta obra.

Após a coleta dos dados em campo, foi realizado uma média aritmética a partir da equação 10 a fim de estimar o volume de coco verde descartado.

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_n)}{n} \quad (10)$$

Sendo:

x_n a quantidade de coco verde vendido diariamente por cada comerciante;

n a quantidade de quiosques ou carrinhos da faixa de areia;

\bar{x} o resultado da média geral de carcaças de coco verde comercializados diariamente na praia ou do município em questão.

Considerando que todos os cocos são deixados para descarte no próprio ponto de consumo chegou-se ao número da quantidade média de cocos verdes descartados diariamente no verão e nas outras estações do ano pelos consumidores. Os dados recolhidos são demonstrados em tabelas na sequência do capítulo.

4.1.1 Estimação da quantidade de coco verde descartado através da comercialização em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e principais pontos de venda em municípios da Baixada Santista

Para os quiosques instalados na orla das praias e outros pontos de venda de coco verde do município de Santos que geram mais de 120 kg diários de lixo, em razão da Lei Complementar nº 952 que disciplina o gerenciamento dos resíduos sólidos no município, tais revendedores são responsáveis pelo descarte adequado destes resíduos. E de acordo com a Coordenadoria de Controle Ambiental (COCAMBI), setor membro da Secretaria do Meio Ambiente (SEMAM), ambos departamentos da Prefeitura Municipal de Santos (PMS), existem três empresas privadas que realizam este serviço, sendo que todas elas são cadastradas junto ao município. São prestadoras de serviço de coleta para destinação de resíduos urbanos, serviço que é taxado dos comerciantes.

Vale ressaltar que no verão o volume produzido de resíduos de coco verde é tão grande que o serviço de coleta chega a ser realizado duas vezes por dia na orla da praia, o que comprova o potencial da cidade para transformar o material descartado em geração de renda.

Uma das obrigações dessas empresas é o fornecimento de relatório mensal para a COCAMBI do número total da quantidade de coleta de resíduos de coco verde em todos os quiosques da orla e alguns estabelecimentos comerciais do município. A tabela 5, ilustra os números totais da quantidade recolhida durante todo o ano de 2019:

Tabela 5 - Quantidade recolhida de resíduo de coco verde gerados no município de Santos no ano de 2019 - (COCAMBI, 2019)

PERÍODO	QUANTIDADE RECOLHIDA (TONELADA)
Janeiro	265,290
Fevereiro	109,371
Março	117,935
Abril	122,126
Maio	98,192
Junho	104,110
Julho	120,483
Agosto	86,294
Setembro	83,540
Outubro	144,570
Novembro	122,682
Dezembro	192,033
Total:	1.566,625

O município de Santos atrai muitos turistas durante o ano principalmente pelo atrativo das praias e seu patrimônio histórico e cultural. Observando os dados da figura 18 é perceptível que o volume gerado de resíduos de coco verde tem pico nos meses de dezembro e janeiro, época em que a quantidade de pessoas aumenta de forma significativa na região devido a fatores como o réveillon e as férias escolares e trabalhistas, sofrendo um declínio logo em seguida e estabilizando nos meses subsequentes.

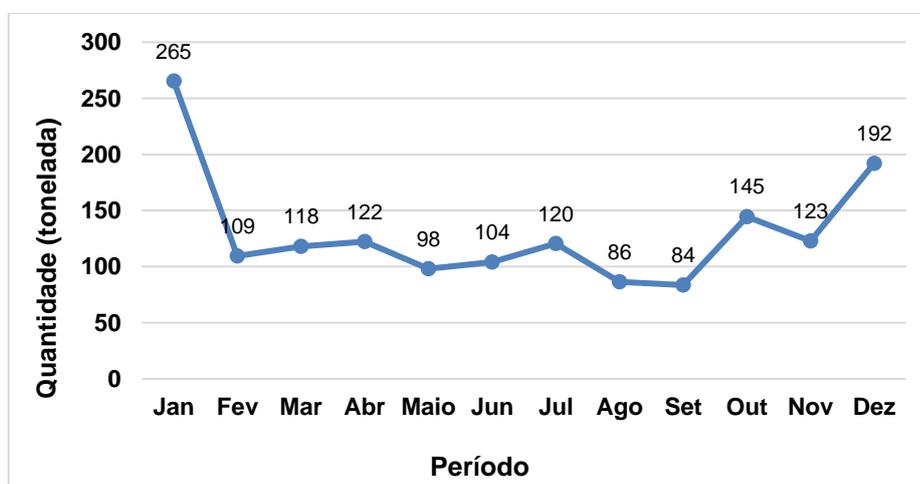


Figura 18 - Quantidade recolhida de resíduos de coco verde gerados no município de Santos no ano de 2019 - (COCAMBI, 2019)

É de hábito comum por consumidores descartar as carcaças de coco verde em lixo urbano e que posteriormente são encaminhados para aterros sanitários em municípios onde adotam esse tipo de método como destinação final para o lixo. Na cidade de Santos, em 30 de dezembro de 2016 a câmara municipal aprovou a Lei Complementar nº 952 que disciplina o gerenciamento dos resíduos sólidos. Sancionada pelo legislativo e, que trata dentre outros assuntos, sobre a responsabilidade de empresas privadas que geram mais de 120 kg de lixo diário darem destino específico para seu próprio resíduo. Geralmente comércios como bares, restaurantes, panificadoras, supermercados ou até mesmo grandes condomínios, acabam contratando os serviços da mesma empresa responsável pela coleta de lixo do município. A mesma situação vale para os quiosques de venda de coco verde das praias, que desde quando essa lei entrou em vigor, estão contratando o serviço dessas empresas para coleta dos resíduos de cocos gerados em seus estabelecimentos.

No Município de Bertioga, devido ao término de concessão os quiosques nas praias foram demolidos. O atual governo vem realizando a construção de novos equipamentos que em breve serão loteados. Contudo, na faixa de areia, mais precisamente entre o calçadão e o início da água do mar, encontram-se os carrinhos que realizam o comércio de coco verde. Foi realizado a pesquisa nos carrinhos de venda de água de coco gelado na praia da Enseada (centro), e os resultados encontram-se na tabela 6:

Tabela 6 - Estimção da média de cocos comercializados diariamente nos carrinhos da faixa de areia da praia da enseada (centro) no município de Bertioga

PRAIA	CARRINHOS QUE COMERCIALIZAM O COCO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS CARRINHOS NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS CARRINHOS EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
ENSEADA	11	880	165

No município de Guarujá, foi levantado que apenas quatro quiosques localizados na praia de Pitangueiras realizam a venda do fruto. A maior quantidade de vendas é realizada pelos carrinhos na faixa de areia. Os resultados da pesquisa realizada em campo nos quiosques são ilustrados na tabela 7 e nos carrinhos na tabela 8:

Tabela 7 - Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla das praias do município de Guarujá

PRAIAS	QUIOSQUES ATIVOS	QUIOSQUES INATIVOS	QUIOSQUES QUE COMERCIALIZAM O COCO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
GUAIÚBA	7	0	0	0	0
TOMBO	6	0	0	0	0
ASTÚRIAS	0	0	0	0	0
PITANGUEIRAS	4	0	4	140	40
ENSEADA	54	0	0	0	0
TOTAL	71	0	4	140	40

Tabela 8 - Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos carrinhos da faixa de areia das praias do município de Guarujá

PRAIAS	CARRINHOS QUE COMERCIALIZAM O COCO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS CARRINHOS NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS CARRINHOS EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
GUAIÚBA	6	540	150
TOMBO	11	1.650	330
ASTÚRIAS	11	1.650	165
PITANGUEIRAS	28	1.120	280
ENSEADA	27	810	135
TOTAL	83	5.770	1.060

Em Itanhaém foram mapeados todos os quiosques da orla da praia e os resultados obtidos na pesquisa são ilustrados na tabela 9:

Tabela 9 - Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla da praia do município de Itanhaém

PRAIAS	QUIOSQUES ATIVOS	QUIOSQUES INATIVOS	QUIOSQUES QUE COMERCIALIZAM O COCO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
TODA A ORLA	66	0	66	3.300	660

Em Mongaguá constatou-se que existe uma grande quantidade de quiosques ativos na orla da praia. Os resultados obtidos na pesquisa de campo são ilustrados na

tabela 10:

Tabela 10 - Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla da praia do município de Mongaguá

PRAIAS	QUIOSQUES ATIVOS	QUIOSQUES INATIVOS	QUIOSQUES QUE COMERCIALIZAM O COCO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
TODA A ORLA	158	41	155	3.255	1.085

No município de Peruíbe foi realizada a pesquisa nos quiosques e os resultados obtidos encontram-se na tabela 11:

Tabela 11 - Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla da praia do município de Peruíbe

PRAIAS	QUIOSQUES ATIVOS	QUIOSQUES INATIVOS	QUIOSQUES QUE COMERCIALIZAM O COCO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
TODA A ORLA	50	0	50	3.250	400

Em Praia Grande constatou-se que os quiosques são relativamente novos tendo sido inaugurados há menos de um ano, pois já havia terminado o prazo de concessão dos antigos que acabaram sendo demolidos. Desta forma, alguns ainda estão em construção pois a cidade passa por uma reformulação da orla da praia. Basicamente existe um ou dois quiosques por bairro ou praia e a cultura de venda de bebidas nesse comércio no município não inclui a venda de coco verde, e sim bebidas alcoólicas como drinks, cervejas e vinhos, água e sucos, como se fossem uma espécie de restaurante ou bar. Os resultados obtidos através da pesquisa realizada nos quiosques são apresentados na tabela 12:

Tabela 12 - Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla das praias do município de Praia Grande

PRAIAS	QUIOSQUES ATIVOS	QUIOSQUES EM CONSTRUÇÃO	QUIOSQUES QUE COMERCIALIZAM O COCO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
CANTO DO FORTE	0	1	0	0	0
BOQUEIRÃO	0	1	0	0	0
GUILHERMINA	2	0	1	10	0
AVIAÇÃO	1	1	0	0	0
TUPI	1	1	0	0	0
OCIAN	1	1	0	0	0
MIRIM	0	1	0	0	0
CAIÇARA	0	1	0	0	0
JD REAL	0	1	0	0	0
SOLEMAR	0	1	0	0	0
TOTAL	5	9	1	10	0

Ao contrário dos quiosques, os carrinhos da faixa de areia das praias de Praia Grande são os principais responsáveis pelo comércio de água de coco. Tendo sido constatado essa observação, foi realizado uma pesquisa acerca da quantidade vendida pelos carrinheiros. Os resultados são ilustrados na tabela 13:

Tabela 13 - Estimação da média de cocos fornecidos diariamente para os carrinhos da faixa de areia das praias do município de Praia Grande

PRAIAS	QUANTIDADE DE CARRINHOS ATENDIDOS	MÉDIA DE COCOS FORNECIDOS DIARIAMENTE NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS FORNECIDOS DIARIAMENTE EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
CANTO DO FORTE ATÉ TUPI	60	1.000	150
OCIAN ATÉ SOLEMAR	50	800	100
TOTAL	110	1.800	250

Um estudo realizado por (MACHADO, 2015) obteve os valores médios do fruto coco verde sem a presença de albúmen líquido (água de coco). Os resultados obtidos foram na faixa de 1,0 a 1,5 kg. Desta forma, para fins de cálculos da estimativa da quantidade de coco verde descartado diariamente no município de Santos, valores

que foram fornecidos de forma mensal e em toneladas, será adotado o peso médio de uma unidade de coco verde na ordem de 1,2 kg, pois este valor também está próximo dos resultados encontrados no laboratório de mecânica dos solos da UNISANTA na pesagem do fruto sem a presença de albúmen sólido.

Através da análise da tabela 5 é possível estimar a quantidade média de coco verde comercializado nos principais pontos de venda do município de Santos. A tabela 14 ilustra os valores calculados:

Tabela 14 - Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos principais pontos de venda do município de Santos

PONTOS DE VENDA	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
TODO O MUNICÍPIO	4.754	3.000

Em São Vicente praticamente todos os quiosques vendem o coco verde e os resultados da pesquisa realizada em campo nas praias do município são ilustrados na tabela 15:

Tabela 15 - Estimação da média de cocos comercializados diariamente nos quiosques da orla das praias do município de São Vicente

PRAIAS	QUIOSQUES ATIVOS	QUIOSQUES INATIVOS	QUIOSQUES QUE COMERCIALIZAM O COCO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VENDIDOS DIARIAMENTE PELOS QUIOSQUES EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
BIQUINHA	18	2	18	270	90
MILIONÁRIOS	1	0	0	0	0
ITARARÉ	58	6	57	1.596	456
TOTAL	77	8	75	1.866	546

O resultado geral da estimativa da quantidade de cocos verdes descartados diariamente em temporadas de verão e em outras estações do ano através da venda em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e em principais pontos de vendas dos municípios de Bertioga, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande,

Santos e São Vicente são demonstrados na tabela 16:

Tabela 16 - Estimação da média de cocos verdes descartados diariamente em temporadas de verão e em outras estações do ano através do comércio em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e em principais pontos de vendas em municípios da Baixada Santista

MUNICÍPIO	MÉDIA DE COCOS VERDES DESCARTADOS DIARIAMENTE NO VERÃO	MÉDIA DE COCOS VERDES DESCARTADOS DIARIAMENTE EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO
BERTIOGA	880	165
GUARUJÁ	5.910	1.100
ITANHAÉM	3.300	660
MONGAGUÁ	3.255	1.085
PERUÍBE	3.250	400
PRAIA GRANDE	1.810	250
SANTOS	4.754	3.000
SÃO VICENTE	1.866	546
TOTAL	25.025	7.206

As figuras 19 e 20 ilustram as porcentagens da estimacão da quantidade de cocos verdes descartados diariamente no verão e nas outras estaoes em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e nos principais pontos de vendas de municípios da Baixada Santista:

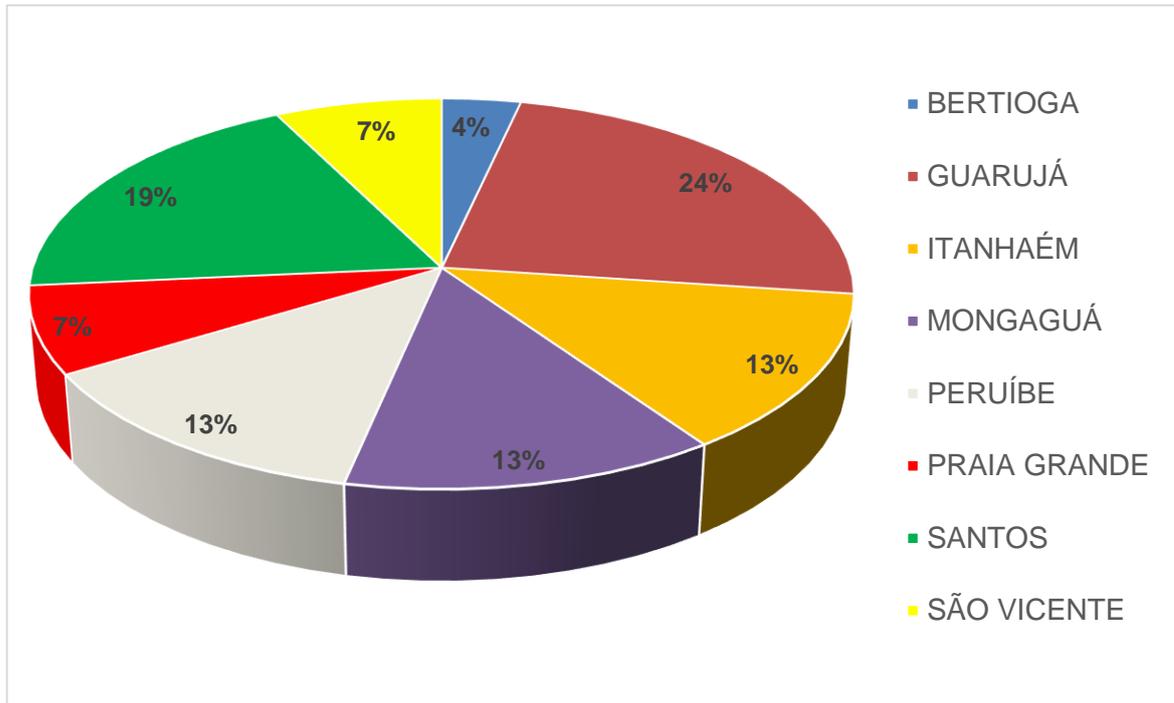


Figura 19 - Porcentagem da média de cocos verdes descartados diariamente no verão nos quiosques e carrinhos da faixa de areia das praias e nos principais pontos de vendas de municípios da Baixada Santista

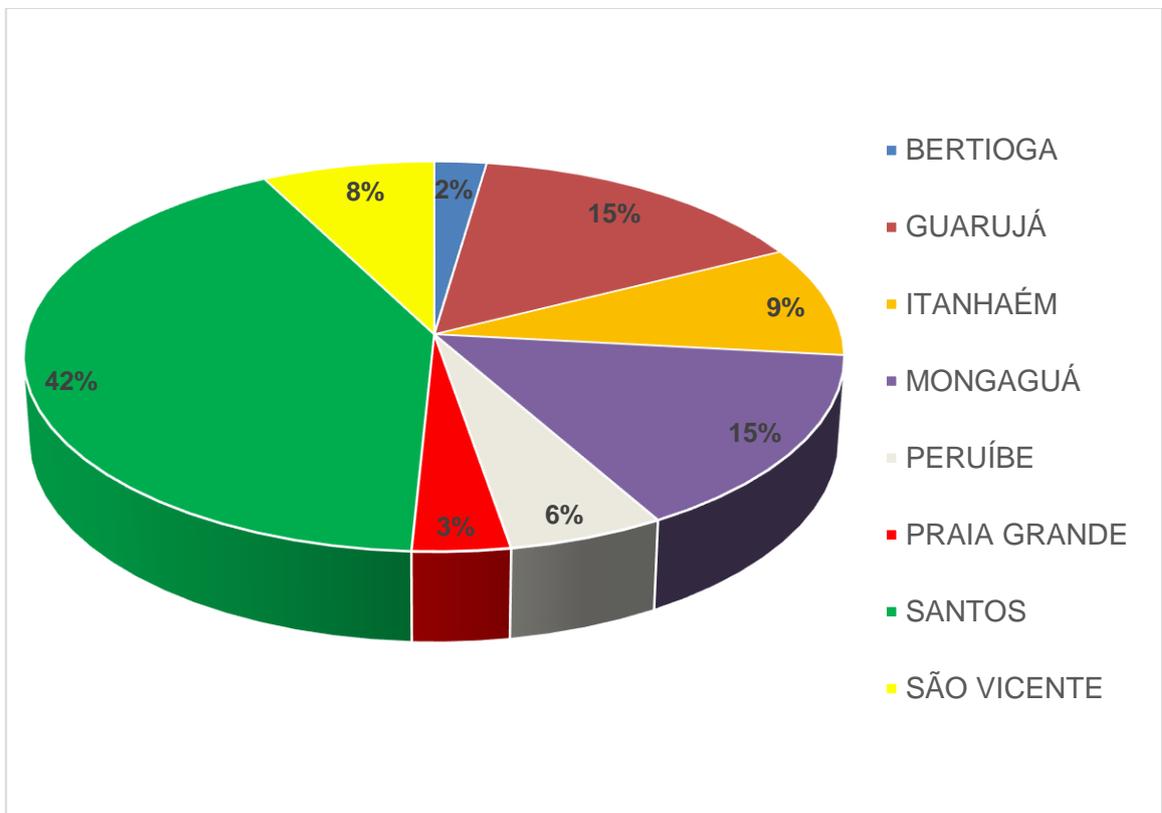


Figura 20 - Porcentagem da média de cocos verdes descartados diariamente nas outras estações do ano nos quiosques e carrinhos da faixa de areia das praias e nos principais pontos de vendas de municípios da Baixada Santista

Considerando o peso médio do coco verde úmido e sem a presença de albúmen líquido (água de coco) em 1,2 kg, tem-se os seguintes valores estimados em quilogramas da média de cocos descartados diariamente em municípios da baixada santista:

Tabela 17 - Estimação do peso médio de cocos verdes descartados diariamente em temporadas de verão e em outras estações do ano através do comércio em quiosques, carrinhos da faixa de areia das praias e em principais pontos de vendas em municípios da Baixada Santista

MUNICÍPIO	MÉDIA DE COCOS VERDES DESCARTADOS DIARIAMENTE NO VERÃO PESO (kg)	MÉDIA DE COCOS VERDES DESCARTADOS DIARIAMENTE EM OUTRAS ESTAÇÕES DO ANO PESO (kg)
BERTIOGA	1.056	198
GUARUJÁ	7.092	1.320
ITANHAÉM	3.960	792
MONGAGUÁ	3.906	1.302
PERUÍBE	3.900	480
PRAIA GRANDE	2.172	300
SANTOS	5.704,8	3.600
SÃO VICENTE	2.239,2	655,2
TOTAL	30.030	8.647,2

Considerando que todo o resíduo de coco verde gerado nos municípios da Baixada Santista fosse encaminhado para o aterro sanitário Sítio das Neves, localizado na área continental de Santos, retirando apenas a cidade de Itanhaém que envia seus rejeitos para Mauá, os números da estimativa apurada em pesquisa de campo equivaleriam a 1,68 % da quantidade total de resíduos urbanos encaminhados ao aterro pelas setes cidades diariamente no verão e 0,5 % nas outras estações do ano.

4.1.2 Estimativa do potencial energético

A umidade do coco verde foi determinada no laboratório de química da Universidade Santa Cecília, os resultados obtidos foram de 80% para as amostras coletadas. O poder calorífico superior do coco verde foi determinado numa bomba calorimétrica por (OBENG, 2020). Para amostras secadas ao sol contendo umidade de 10,30 % foi encontrado PCS de 11,54 MJ/kg \pm 1,32 MJ/kg.

O cálculo do potencial energético dos resíduos de coco verde descartados na baixada santista foi realizado da seguinte maneira:

a) Cálculo do peso de cocos descartados para umidade de 10,3 %:

Considera-se que cada coco em média pesa 1,2 kg, então para uma umidade de 80 % tem-se 0,24 kg de coco seco em cada unidade. Para o caso de amostra de coco com 10,3 % tem-se que o peso equivalente de coco seco será 89,7 % correspondente a 0,24 kg e o coco úmido com 10,3 % de umidade será 0,2675 kg.

Para a temporada de verão de 120 dias (dezembro, janeiro, fevereiro e março) tem-se um descarte diário estimado em 25.025 cocos/dia e 7.206 cocos/dia nas outras estações do ano. Segundo (MACHADO, 2015) cerca de 4 % do peso do coco verde é composto por albúmen sólido. Desta forma, o peso total de resíduo de biomassa de coco verde descartado no verão considerando uma umidade de 10,3 % será 6.426,42 kg/dia e nas outras estações 1.850,5 kg/dia

b) Cálculo do potencial energético:

O potencial de energia contido nos resíduos de biomassa de coco verde pode ser calculado através da equação 11:

$$\text{Potencial de energia} = \text{Peso} \times \text{PCS} \times \text{Eficiência de combustão} \quad (11)$$

Considerando uma eficiência de combustão de 0,8 % para a biomassa de coco verde tem-se que o potencial de energia no verão é na ordem de 59.328,7 MJ por dia, equivalente a 16.475,6 kWh por dia. O potencial de energia nas outras estações do ano é na ordem de 17.083,8 MJ por dia, equivalente a 4.744,18 kWh por dia.

O Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 (ano base 2019) desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estipulou o consumo médio mensal de energia elétrica por residência na região sudeste do Brasil em 172,9 kWh/mês (EPE, 2020). Multiplicando os resultados das estimações diárias do potencial de energia dos

resíduos da biomassa de coco verde descartado na Baixada Santista no verão e nas outras estações do ano pelo equivalente de dias em um mês (trinta) e dividindo o resultado pelo consumo médio mensal de energia elétrica por residência no sudeste do Brasil (172,9 kWh/mês), tem-se que o potencial de energia contido nos resíduos de biomassa de coco verde da Baixada Santista no verão é capaz de abastecer energeticamente 2.858 imóveis residenciais por mês e 823 imóveis mensalmente nas outras estações do ano.

4.2 Resultados dos testes de combustão de biomassa de coco verde em laboratório

A realização de um monitoramento térmico da câmara de combustão tubular foi aplicada para a obtenção dos resultados das medições de temperatura de chama e emissão de gases alcalinos da biomassa de coco verde. Os sistemas de espectrometria e de imagens térmicas foram utilizados na captura dos resultados.

Nos testes de laboratório, as amostras de biomassa de coco verde previamente secas e desfiadas foram pesadas em balança eletrônica de precisão e separadas em parcelas que variaram de 2 a 3 g, uma maneira de garantir ar suficiente para a combustão do processo. Logo após a separação, a câmara de combustão foi aquecida até o ponto em que a grelha atingiu uma cor avermelhada e as amostras previamente secas foram introduzidas. É válido considerar que a grelha estava a uma temperatura de aproximadamente 800 K, pois em processos de tratamento térmico considera-se que o metal está a essa temperatura quando ele emite radiação térmica no comprimento de onda correspondente a esta cor. Após a inserção da biomassa na câmara de combustão, a chama do bico de Meeker foi apagada a fim de não influenciar nos resultados dos experimentos e não consumir o oxigênio do ar necessário para a combustão da biomassa. Depois de três a sete segundos, período em que a umidade restante do material era vaporizada, a biomassa entrava em combustão e os espectros de radiação térmica coletados pelo espectrômetro e os sinais tratados num computador utilizando o software Avantes 8.0. Um esquema desse processo é demonstrado na figura 21:

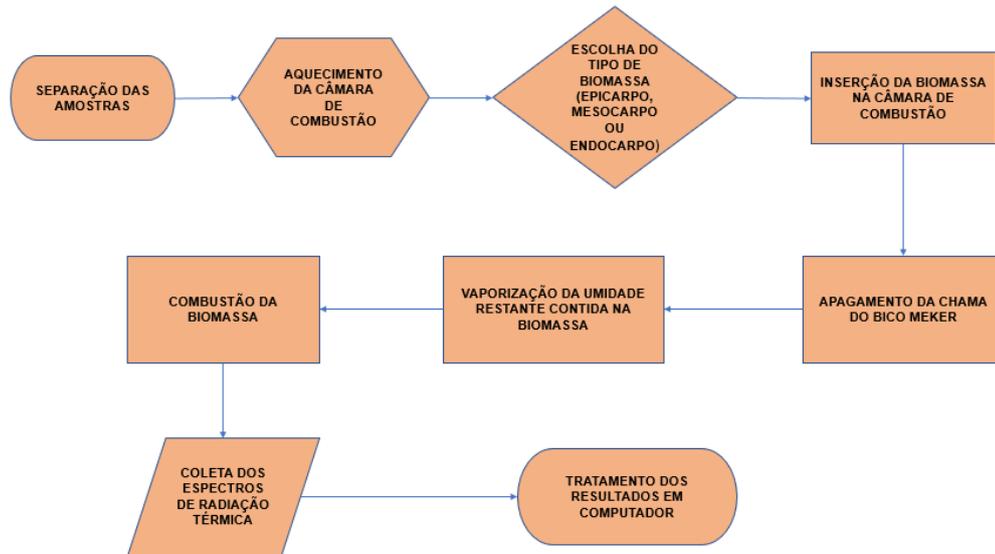


Figura 21 - Esquemática do procedimento de queima de biomassa de coco verde em câmara tubular de combustão em laboratório

O sistema de espectrometria utilizado é capaz de coletar um espectro de chama por cada segundo. Após alguns testes iniciais de combustão foi adotado o seguinte procedimento experimental: combustão da biomassa de coco verde na câmara de combustão tubular de laboratório e aquisição dos dados do espectro da chama instalando a lente do detector a 2 cm de distância da chama da biomassa. Devido ao curto tempo de monitoramento da combustão realizado nos testes, na ordem de 12 a 15 s de duração, o detector não sofreu aquecimento capaz de danificar o equipamento.

Os cálculos de temperatura de chama foram realizados em um intervalo de variação de 12 a 15 s de testes experimentais contínuos. Todos os experimentos foram gravados em câmera digital fotográfica. Um computador notebook com visualização direta dos horários em que foram realizadas as queimas das biomassas foi utilizado como suporte aos testes experimentais para que então houvesse uma sincronização e fosse possível uma localização das informações no software utilizado na captura dos dados. Dessa forma também foi possível realizar a escolha dos momentos ideais para análises em que as chamas apresentassem todos os perfis e aspectos desejáveis, como já informados previamente. Através das figuras 22 e 23 é possível observar os aspectos das chamas de alguns dos momentos escolhidos durante os experimentos:



Figura 22 - Captura dos momentos ideais de chamas - Parte 1



Figura 23 - Captura dos momentos ideais de chamas - Parte 2

Uma etapa existente no processo de combustão é a volatilização. Nela ocorre a liberação da umidade contida na matéria antes do surgimento da chama. Na primeira imagem da figura 22 é possível observar esse fenômeno. Logo após a biomassa entra em combustão gerando as chamas ilustradas nas figuras 22 e 23.

4.2.1 Determinação da temperatura da chama

O procedimento experimental para a estimativa da temperatura de chama foi realizado através de três experimentos em condições similares utilizando amostras selecionadas e preparadas de biomassa de coco verde nas composições epicarpo, mesocarpo e endocarpo. Foram capturados os espectros de emissão das chamas durante a combustão. Foram realizados cálculos de estimativa da temperatura através

do método Duas Cores, utilizando as potências emissivas para os pares de comprimento de onda com uma distância de $\Delta\lambda$ de 10, 15, 20, 25 e 30 nm entre os respectivos pares de comprimentos de onda. Os resultados das estimativas de temperatura foram plotados ao longo de toda a faixa espectral. Foi determinada as regiões espectrais com maior estabilidade do valor estimado da temperatura, o que está relacionado com faixas espectrais onde a suposição de emissividade aproximadamente igual para os pares de comprimentos de onda utilizados no método duas cores se cumprem.

Neste trabalho se apresentam resultados de estimação de temperatura da chama durante a combustão de biomassa de coco verde utilizando a máxima diferença de $\Delta\lambda$ igual a 30 nm.

4.2.1.1 Experimento realizado com epicarpo de coco verde desfiado

A figura 24 ilustra o resultado da potência emissiva espectral capturado na irradiação da chama durante a combustão de epicarpo de coco verde desfiado para um instante e para um dos experimentos de combustão realizados. Observa-se um pico principal de emissão/absorção no comprimento de onda de 766 nm que corresponde à linha de emissão de potássio. Se observa uma potência emissiva continua ao longo de todo o espectro de emissão que corresponde a emissão de corpo negro ou cinza das partículas dentro da chama.

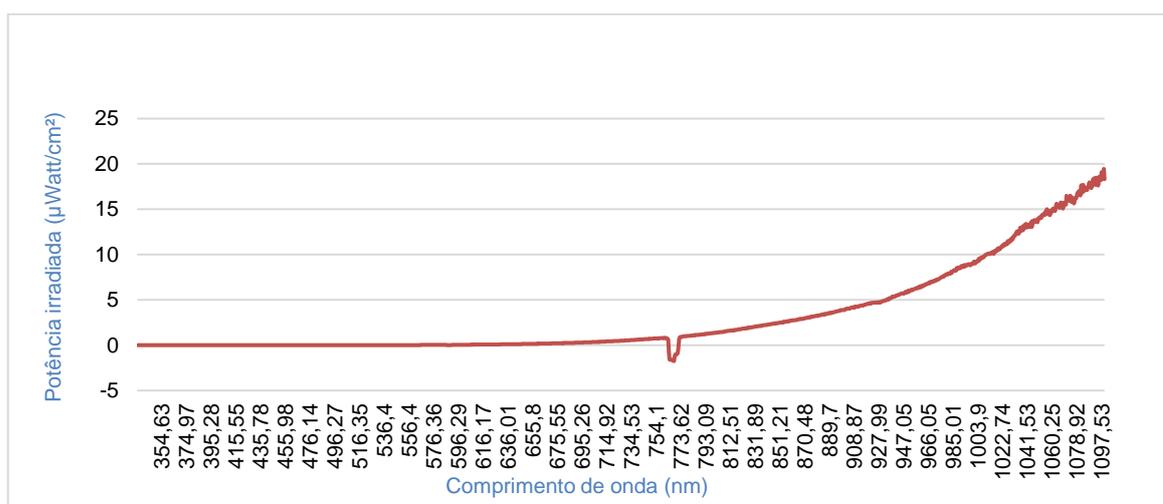


Figura 24 - Potência irradiada em função do comprimento de onda (epicarpo de coco verde desfiado)

Para o cálculo da temperatura da chama aplicando o método duas cores se

utilizou o espectro de emissão conforme mostrado na figura 24. Em todos os cálculos se realizou a estimação da temperatura utilizando os pares de potência emissiva e de comprimento de onda com uma distância de 10, 15, 20, 25 e 30 nm. Nas figuras 25 a 29 se ilustram os resultados obtidos para cada um desses casos. Em todos os casos se observa que existe uma zona espectral na faixa de 600 a 900 nm onde a medição é mais estável e fisicamente representativa para a emissão de chama durante os experimentos realizados neste trabalho. Se observa que o pico de emissão perturba a estimação da temperatura, a jusante e montante. Esses picos de emissão deverão ser eliminados nos cálculos finais da estimação da temperatura. Se observa que $\Delta\lambda$ influencia na estabilidade da solução e foi encontrado que um $\Delta\lambda$ igual a 30 nm é apropriado para as estimações por capturar com mais frequência situações em que a suposição de emissividade é aproximadamente igual nos dois comprimentos de onda avaliados em cada cálculo para o método de duas cores.

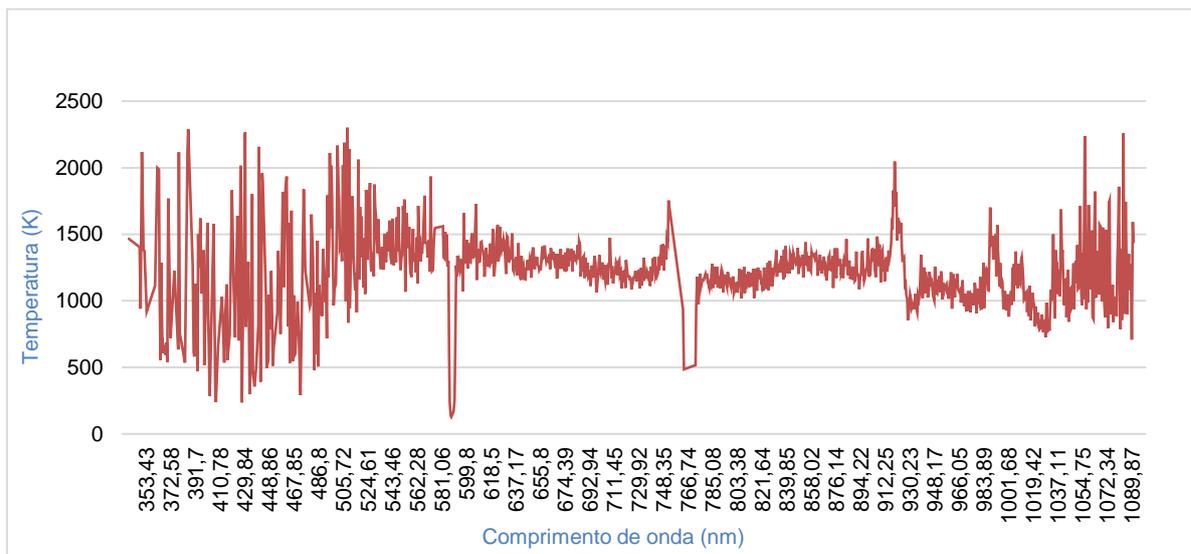


Figura 25 - Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 10 nm

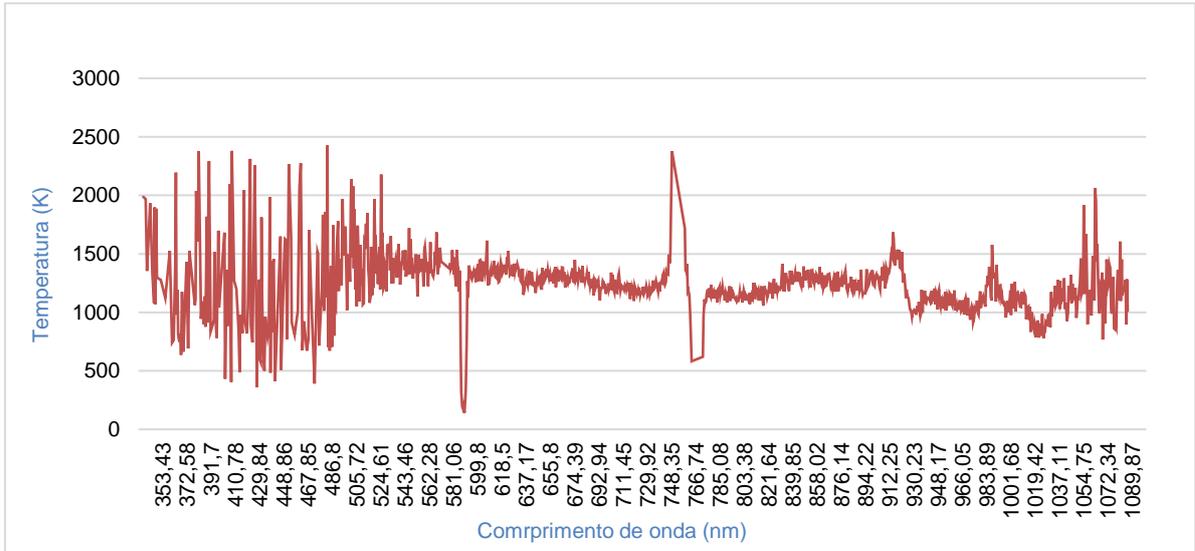


Figura 26 - Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 15 nm

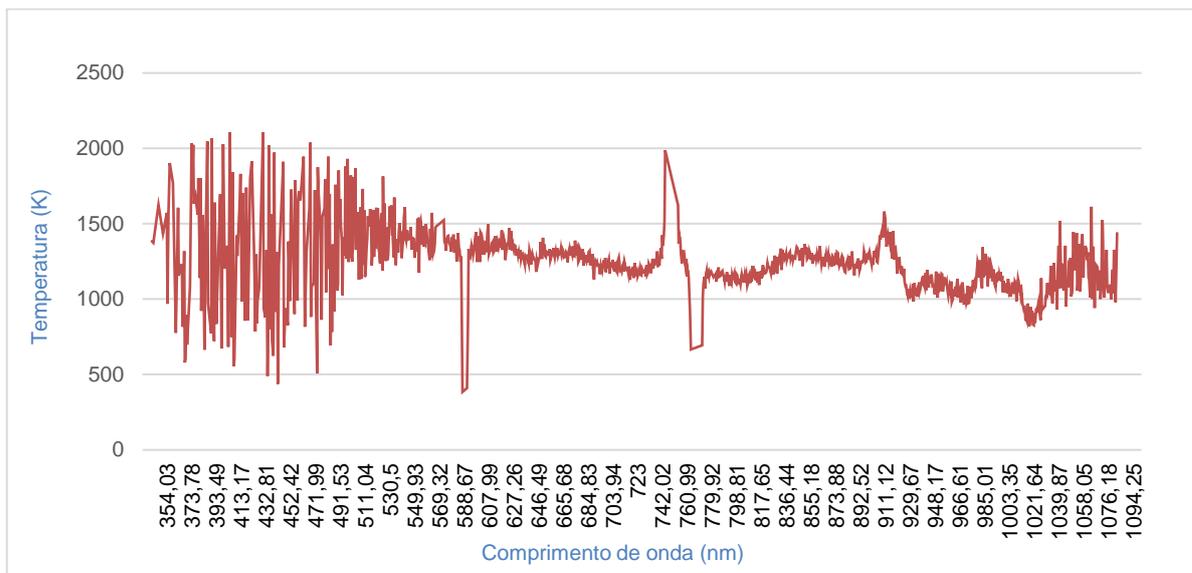


Figura 27 - Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 20 nm

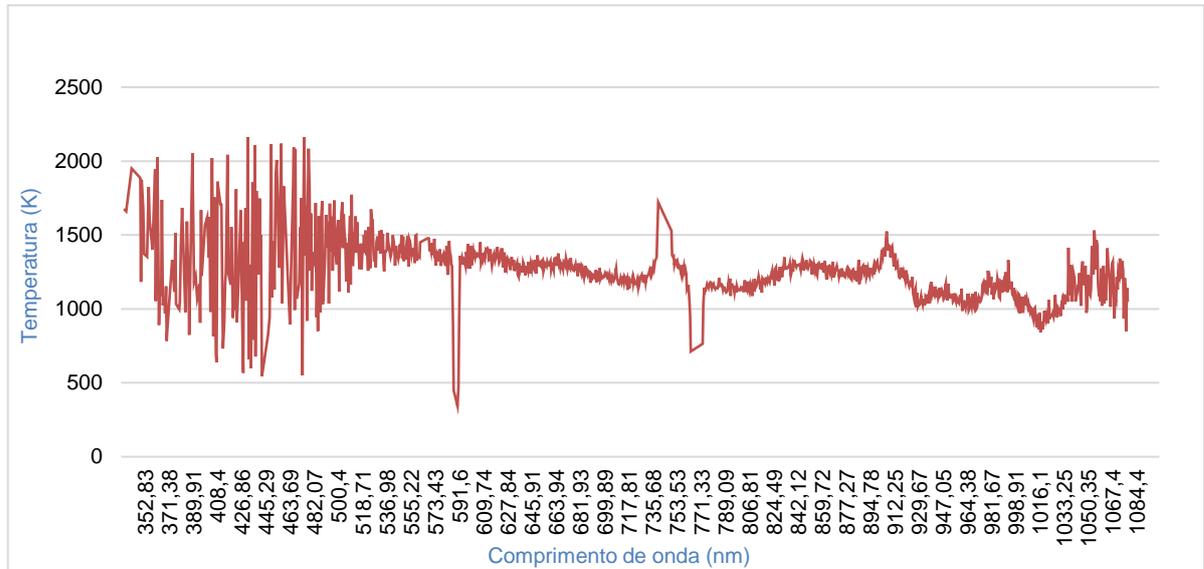


Figura 28 - Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 25 nm

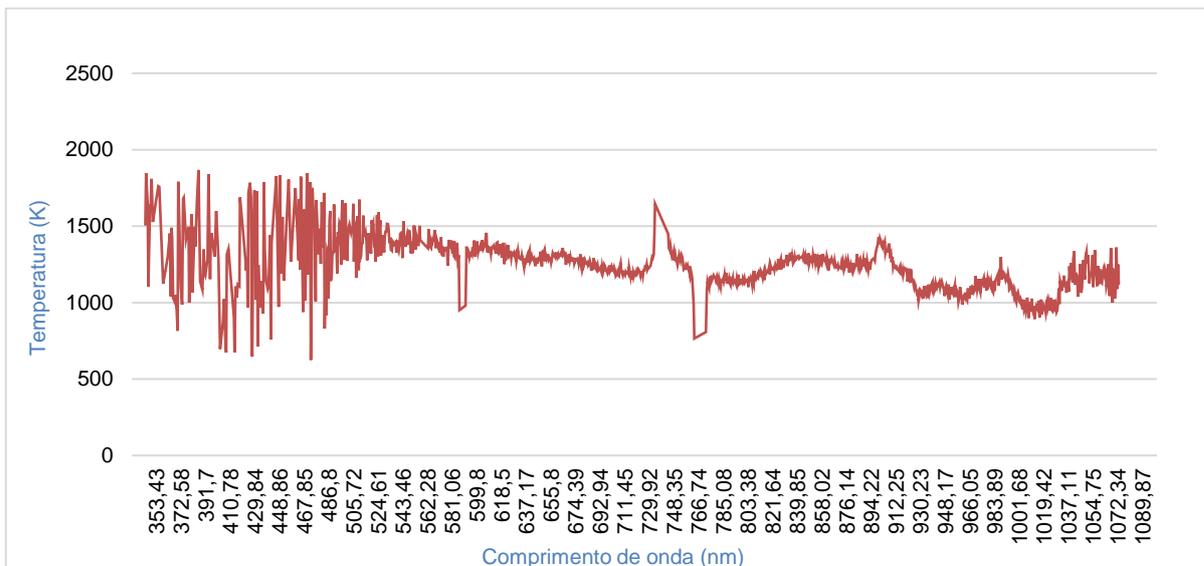


Figura 29 - Temperatura em função do comprimento de onda - Epicarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 30 nm

4.2.1.2 Experimento realizado com mesocarpo de coco verde desfiado

Na figura 30 se ilustra um resultado típico da potência emissiva espectral de irradiação da chama durante a combustão do mesocarpo de coco verde desfiado para um instante e para alguns dos experimentos de combustão realizados. De forma igual ao caso anterior, observa-se um pico principal de emissão/absorção no comprimento de onda de 766 nm que corresponde à linha de emissão de potássio. Os valores da potência emissiva para o mesocarpo nestes experimentos foram ligeiramente maiores

que durante a combustão do epicarpo. Também é possível notar que o perfil da emissão espectral é similar ao encontrado na combustão com bagaço de cana de açúcar demonstrado por (SALINAS, 2020), conforme figura 31.

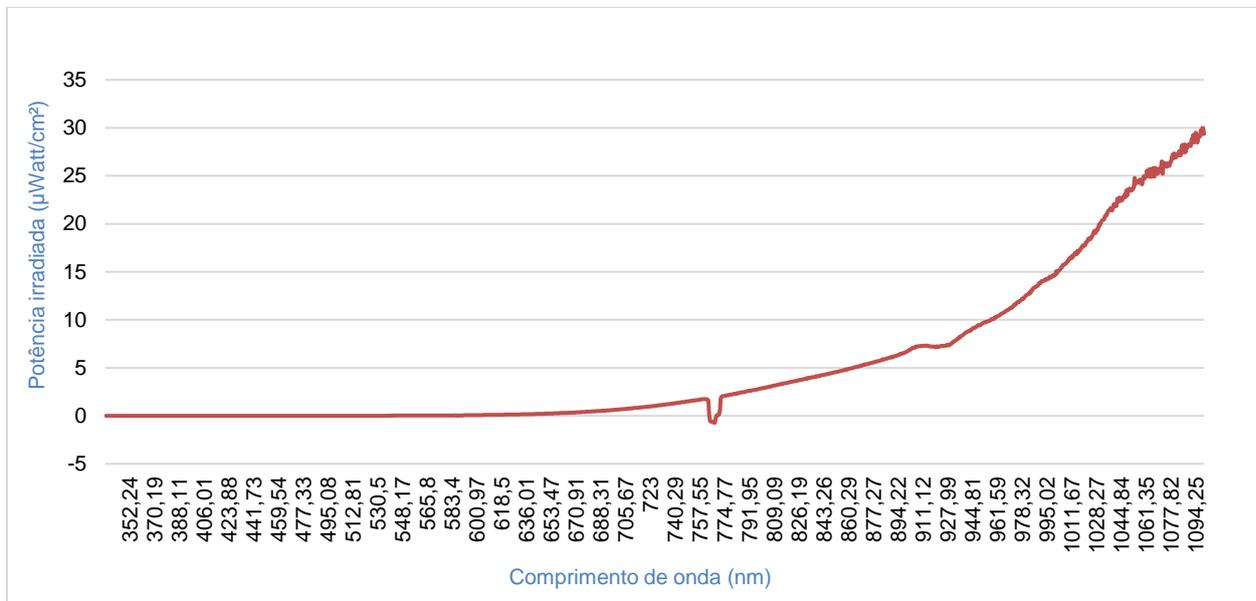


Figura 30 - Potência irradiada em função do comprimento de onda - Mesocarpo de coco verde desfiado

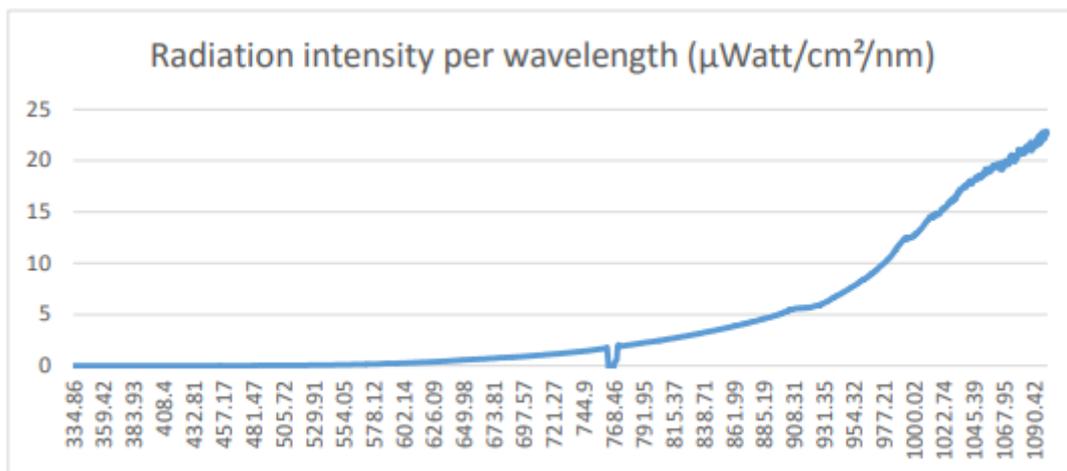


Figura 31 - Potência irradiada em função do comprimento de onda (bagaço de cana de açúcar) - (SALINAS, 2020)

A figura 32 ilustra a estimativa da temperatura da chama durante a combustão do mesocarpo de coco verde ao longo de toda a faixa espectral de captura de emissão da chama. Neste caso isolado se demonstra o cálculo para $\Delta\lambda$: 30 nm. Os cálculos para os outros valores de $\Delta\lambda$ mencionados antes também foram realizados e mostram o mesmo padrão de comportamento. Para os experimentos realizados com

mesocarpo nota-se que a faixa mais estável da estimacão de temperatura da chama se encontra na faixa de luz visível entre 600 e 850 nm. A perturbao na estimacão da temperatura devido aos picos de emissão de potássio  evidente e eles devem ser retirados dos cálculos previamente.

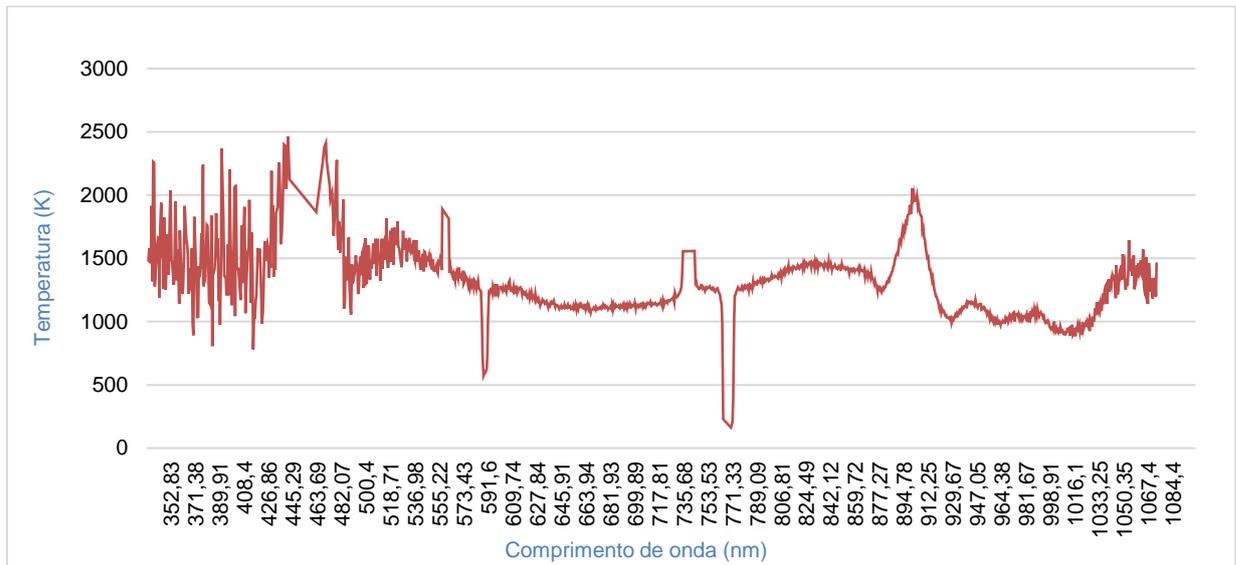


Figura 32 - Temperatura em funo do comprimento de onda - Mesocarpo de coco verde desfiado - Distância entre $\Delta\lambda$: 30 nm

4.2.1.3 Experimento realizado com endocarpo de coco verde

Na figura 33 se apresenta um gráfico tpico da potência emissiva espectral de irradiao da chama durante a combustão do endocarpo de coco verde para um instante e para um dos experimentos realizados. Da mesma forma que nos casos anteriores, observa-se um pico principal de emissão/absoro no comprimento de onda de 766 nm que corresponde  linha de emissão de potássio.

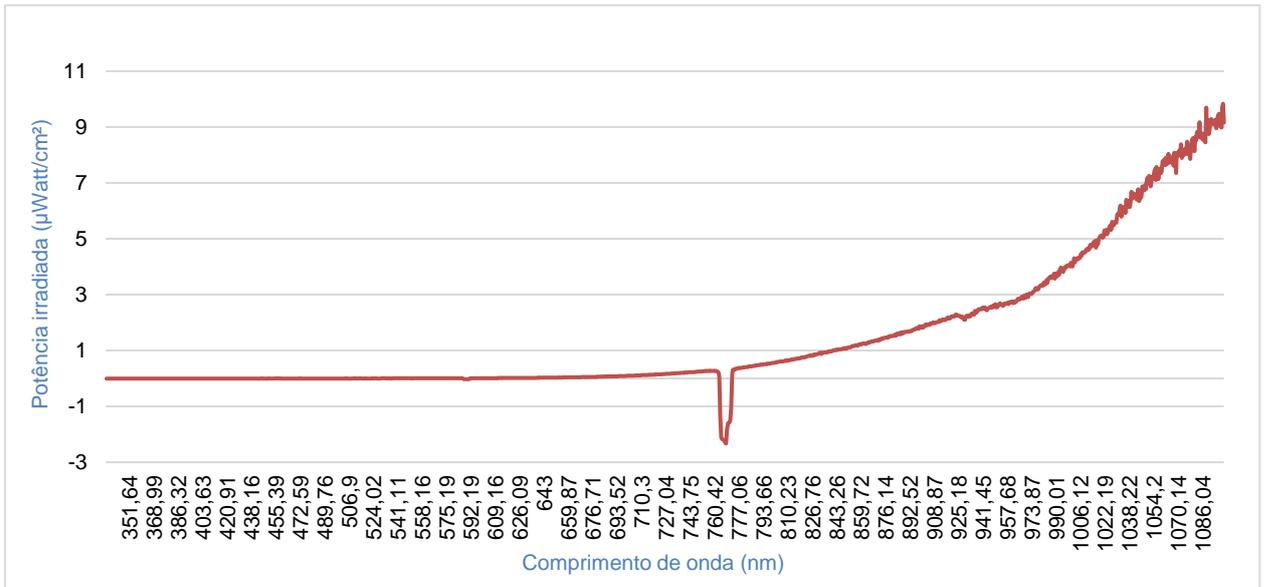


Figura 33 - Potência irradiada em função do comprimento de onda - Endocarpo de coco verde

Na figura 34 se apresenta o resultado da estimativa de temperatura correspondente ao espectro de emissão capturado conforme mostrado na figura 33.

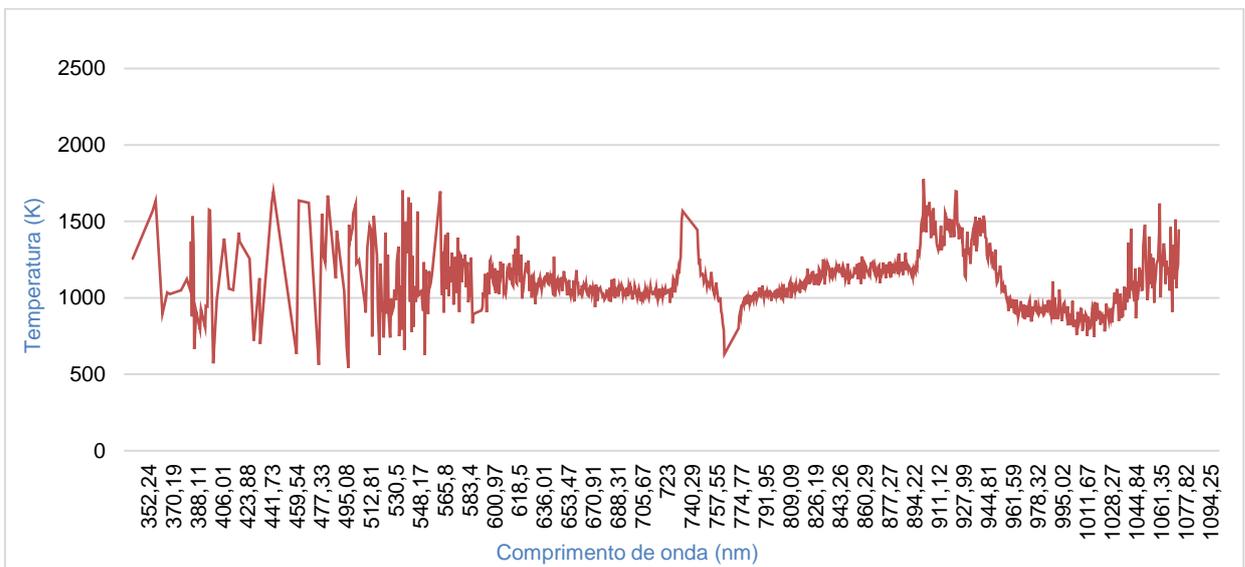


Figura 34 - Temperatura em função do comprimento de onda - Endocarpo de coco verde - Distância entre $\Delta\lambda$: 30 nm

Na figura 35 se demonstra um gráfico com as temperaturas médias de chama realizado com os dados de processos de combustão para vários experimentos com biomassa de coco verde nas composições epicarpo, mesocarpo e endocarpo. A ignição do epicarpo tem um grau de facilidade maior que a do mesocarpo em função da sua menor concentração de umidade. Os resultados dos experimentos realizados

indicaram temperatura média de 1321,76 K para o epicarpo. Com base nos valores numéricos calculou-se o desvio padrão que apresentou o valor de 138,5 K também para a biomassa de coco verde na composição epicarpo. Na combustão do mesocarpo a temperatura média indicada foi de 1261,67 K com um desvio padrão de 135,4 K. E para o endocarpo temperatura média de 1238,88 K e 129,4 K de desvio padrão. De modo geral, os resultados de temperatura média e desvio padrão, respectivamente, do bagaço de coco verde incluindo as três composições (epicarpo, mesocarpo e endocarpo) foram de 1273,02 K e 138,5 K.

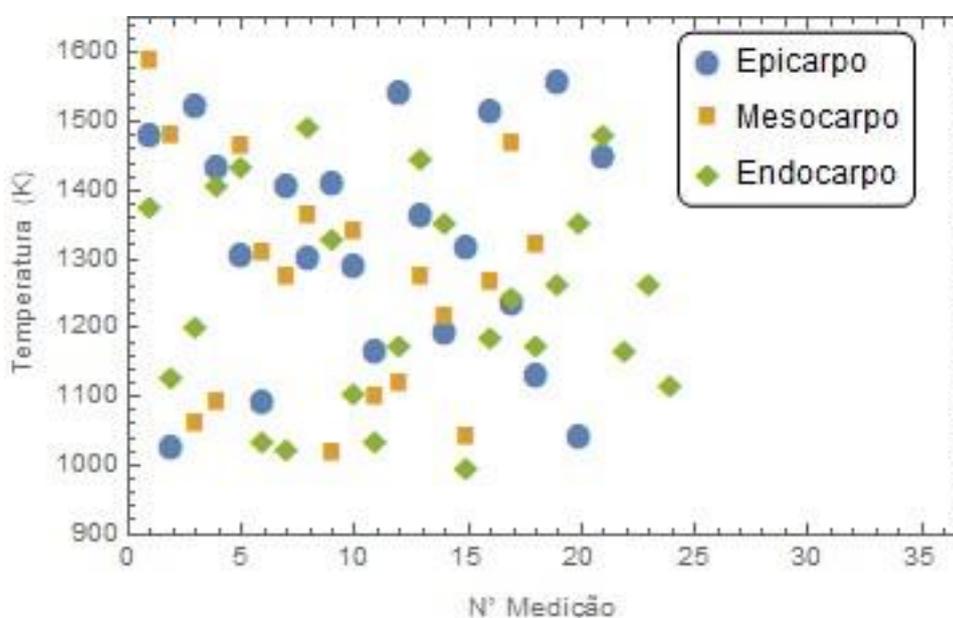


Figura 35 - Temperatura média da chama durante o processo de combustão de epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde

A figura 36 apresenta um gráfico da mediana para testes experimentais de combustão realizado com os dados de processos em vários experimentos utilizando biomassa de coco verde nas composições epicarpo, mesocarpo e endocarpo. Os valores das medianas para as temperaturas de chama foram de 1316, 1270,5, 1222 e 1271 K, respectivamente para o epicarpo, mesocarpo, endocarpo e bagaço de coco completo incluindo as três composições.

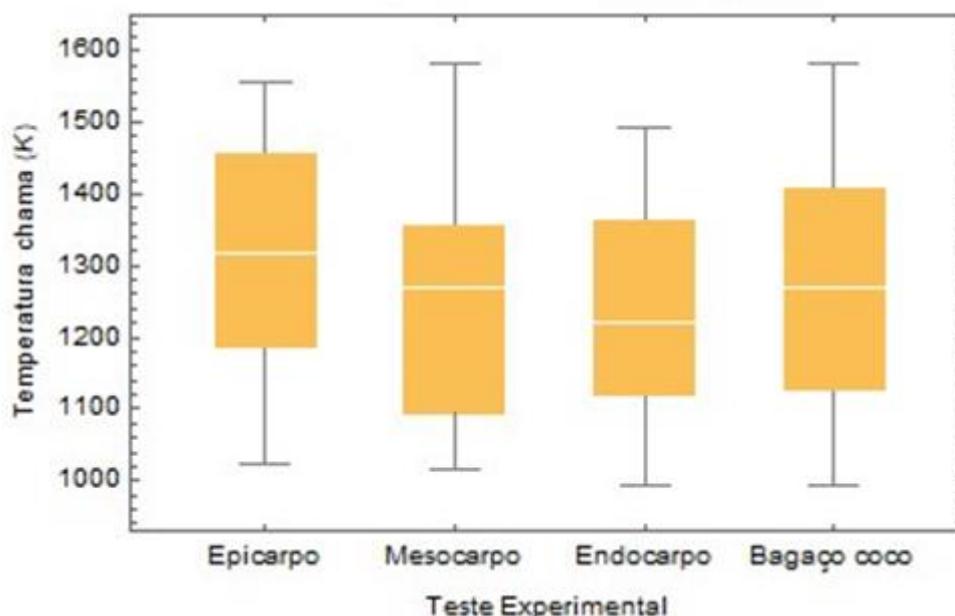


Figura 36 - Gráfico da mediana para vários experimentos de epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco

Os cálculos de estimação da temperatura da zona reativa da chama focalizada pelo sensor do espectrômetro foram realizados utilizando os espectros instantâneos de emissão durante a combustão dos diferentes tipos de biomassa de coco verde testados e o método de duas cores. Um resumo dos resultados encontrados se apresenta na tabela 18. Para fins de comparação, se apresentam também na tabela 18 os resultados das medições realizadas utilizando o sistema de termografia na faixa de luz visível. As medições foram feitas de forma simultânea à captura dos espectros de emissão e no caso do sistema de termografia as temperaturas medidas representam uma média da zona reativa da chama enfocada. Já a medição com o sistema espectrométrico fornece a medida de um ponto da zona reativa.

Para os experimentos realizados a temperatura da chama de biomassa de coco verde ficou na faixa de 1000 a 1450 K. A combustão do mesocarpo teve um grau maior de dificuldade em razão do elevado teor de umidade e a do epicarpo e endocarpo foi mais ágil e com mais facilidade. As medições da umidade da biomassa de coco verde recém-chegadas da coleta em campo foram da ordem de 80 %. Nessas condições a combustão da biomassa de coco é difícil e não recomendável. Após o tratamento e preparação das amostras conforme explicado no capítulo 3, o bagaço de coco verde com umidade na faixa de 20 a 35 % apresenta viabilidade para queima.

Tabela 18 - Resultados dos testes experimentais de laboratório

Horário (hh:mm:ss)	Temperatura estimada (K) na zona reativa (Espectrometria)	Temperatura média (K) na zona reativa (Sistema de imagens térmicas)	Biomassa de Coco
16:08:39	1481	1026,52	Epicarpo
16:08:42	1431	1026,43	Epicarpo
16:08:43	1303	1028,72	Epicarpo
16:11:15	1290	1051,69	Epicarpo
16:12:01	1363	1029,53	Epicarpo
16:17:16	1190	1039,73	Epicarpo
16:20:28	1450	1049,74	Epicarpo
16:28:21	1584	1175,93	Mesocarpo
16:28:34	1056	1285,05	Mesocarpo
16:31:55	1459	1079,90	Mesocarpo
16:32:02	1270	1187,85	Mesocarpo
16:32:07	1358	1154,46	Mesocarpo
16:32:15	1271	1171,24	Mesocarpo
16:32:28	1316	1194,34	Mesocarpo
16:34:00	1376	1084,67	Endocarpo
16:34:23	1350	1085,59	Endocarpo
16:35:25	995	1085,86	Endocarpo
16:37:19	1183	1085,91	Endocarpo
16:37:29	1478	1089,90	Endocarpo
16:37:52	1163	1092,35	Endocarpo
16:38:53	1260	1101,29	Endocarpo
16:39:03	1113	1107,13	Endocarpo

4.2.2 Determinação da temperatura da chama ao longo do processo de combustão

A fim de obter mais informações e realizar uma comparação do comportamento da variação da temperatura da chama durante o processo de combustão, foram realizados novos experimentos buscando monitorar a variação da

temperatura ao longo do tempo.

Para realizar esse estudo foi utilizado um software dedicado procedente da cooperação com a *Huazhong University of Science and Technology (HUST)*. Este software permite monitorar a temperatura da combustão de forma simultânea ao cálculo do conteúdo de gases alcalinos na chama da combustão da biomassa e seu princípio de operação é baseado na captura instantânea dos espectros de emissão da chama durante a combustão. O processo de combustão na câmara de combustão tubular é do tipo de difusão turbulenta e instável. O software utilizado tem a capacidade de capturar os espectros de emissão de segundo em segundo durante o processo de queima da biomassa. As temperaturas de chamas aferidas pelo software para o caso de dois experimentos de combustão utilizando o epicarpo de coco verde desfiado são apresentados nas figuras 37 e 38. Observa-se que as temperaturas estimadas estão entre 1025 e 1699 K.

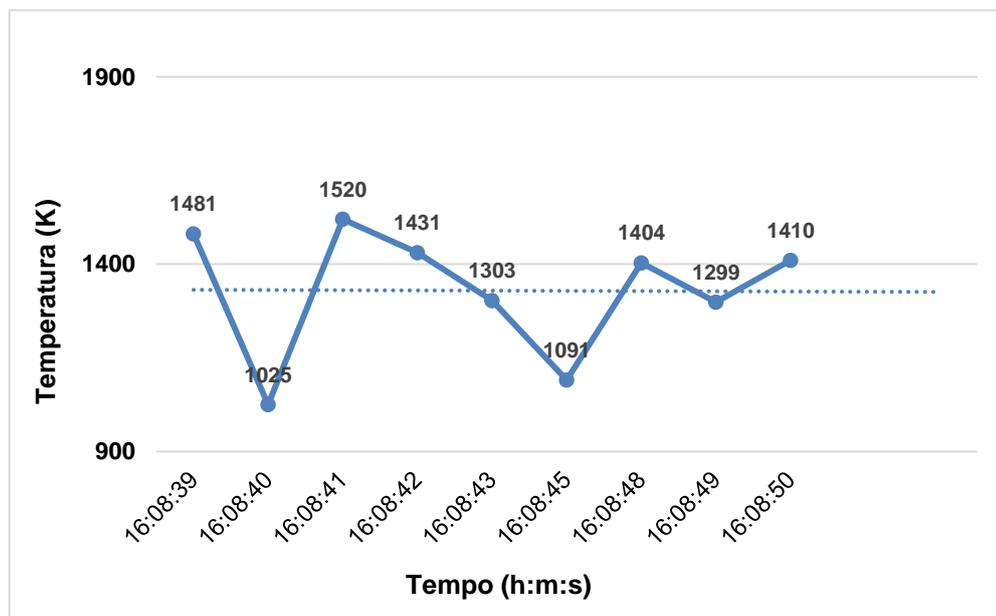


Figura 37 - Temperatura em função do tempo de chama com características desejáveis (16:08:39 à 16:08:50) - Epicarpo de coco verde

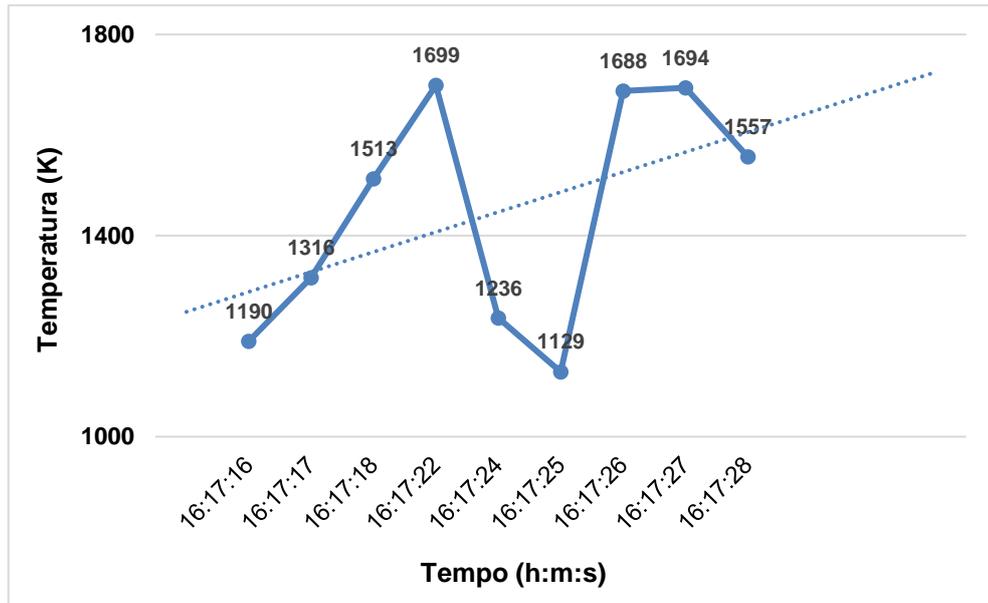


Figura 38 - Temperatura em função do tempo de chama com características desejáveis (16:17:16 à 16:17:28) - Epicarpo de coco verde

A variação da temperatura da chama com o tempo para o caso de um experimento típico de combustão utilizando o mesocarpo de coco verde desfiado é apresentada na figura 39. Observa-se que as temperaturas estimadas estão entre 881 e 1462 K. Estas temperaturas são menores que no caso do epicarpo pois as amostras do mesocarpo têm maior umidade mesmo após o processo de secagem e preparação.

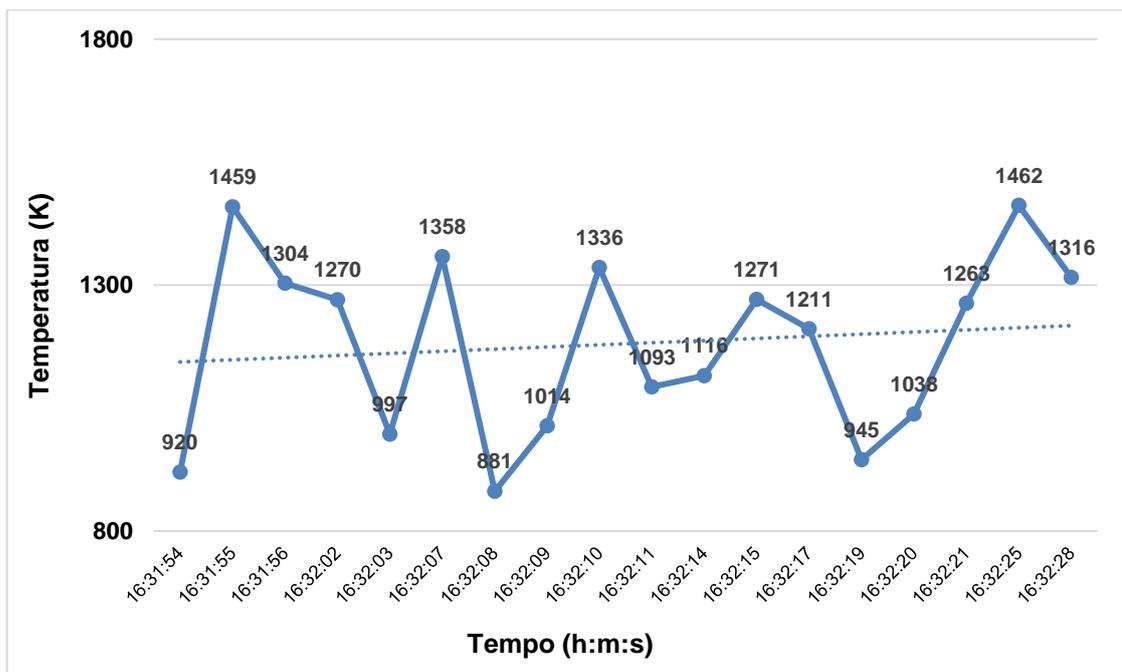


Figura 39 - Temperatura em função do tempo de chama com características desejáveis (16:31:54 à 16:32:28) - Mesocarpo de coco verde

A variação da temperatura da chama com o tempo para o caso de um experimento típico de combustão utilizando o endocarpo de coco verde é apresentada na figura 40. Observa-se que as temperaturas estimadas estão acima de 1500 K, com exceção dos momentos iniciais do processo de combustão. Essas temperaturas são maiores que nos casos do epicarpo e mesocarpo. Este fenômeno deve-se ao fato de as amostras do endocarpo terem uma densidade maior que as do epicarpo e do mesocarpo e pela sua própria característica em conter menos umidade.

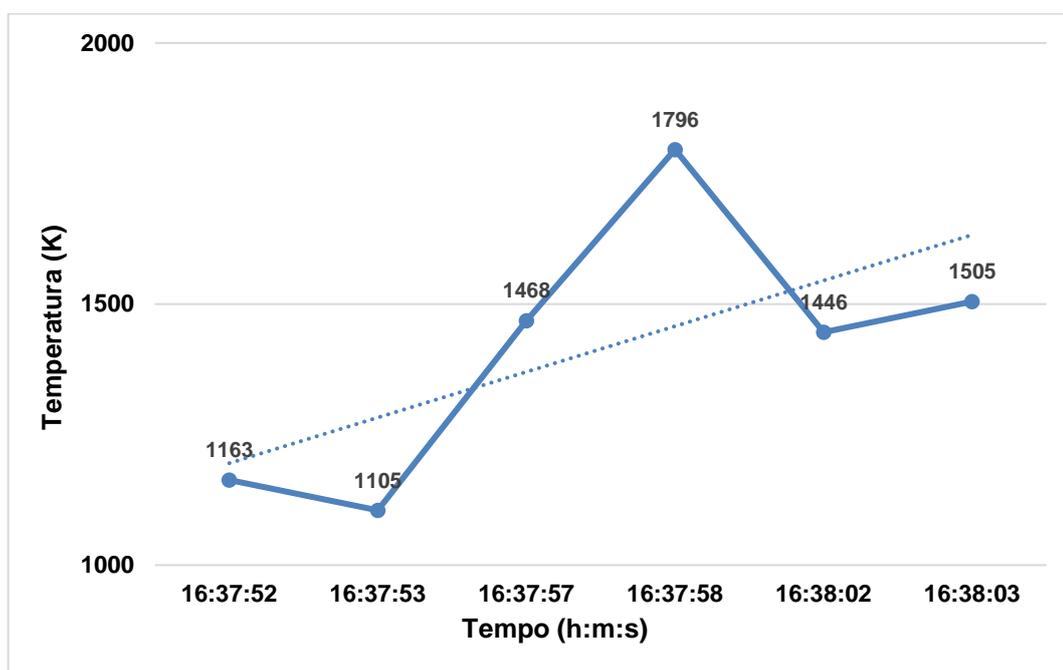


Figura 40 - Temperatura em função do tempo de chama com características desejáveis (16:37:52 à 16:38:03) - Endocarpo de coco verde

4.3 Emissão de gases alcalinos

Para a estimativa do conteúdo de gases alcalinos como sódio e potássio, foi utilizado um software dedicado procedente da cooperação com a *Huazhong University of Science and Technology (HUST)*.

O Potássio é um elemento químico encontrado de forma espontânea nos coqueiros e em larga escala quando aplicado por produtores nas plantações, ocasionando os seguintes estímulos:

- a) Estimulação da vegetação e do perfilhamento;
- b) Aumento no teor de carboidratos, óleos, lipídeos e proteínas;
- c) Promove o armazenamento de açúcar e amido;
- d) Ajuda na fixação do nitrogênio;

e) Regula a utilização da água e aumenta a resistência à seca, geada e moléstias.

Em um processo de queima da biomassa de coco verde em caldeiras, por exemplo, o potássio pode causar efeitos de corrosão devido à concentração que é capaz de alcançar nos gases da combustão.

Foram realizados três experimentos de combustão para cada caso utilizando o epicarpo, mesocarpo e o endocarpo a fim de estimar as concentrações de gases alcalinos (potássio e sódio).

Na figura 41 se ilustra a variação da concentração de potássio durante o processo de combustão de um dos experimentos utilizando o epicarpo de coco verde. A ignição do epicarpo é relativamente fácil devido sua baixa umidade. A combustão é instável e do tipo difusivo. Observa-se que durante este experimento foi alcançado uma emissão máxima da ordem de 58,87 mg/m³.

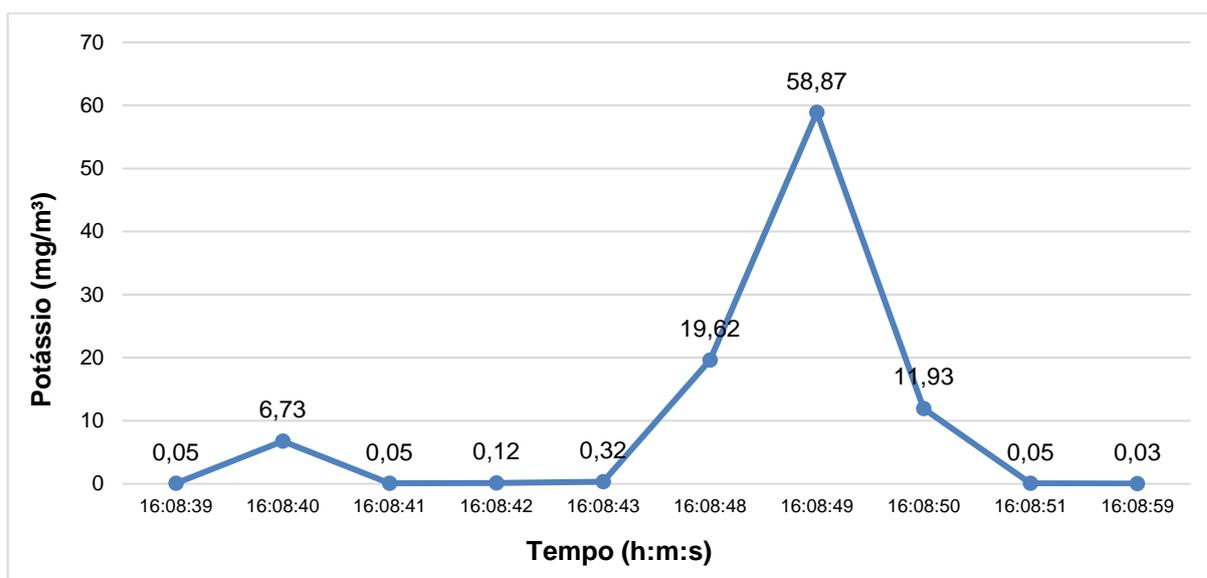


Figura 41 - Concentração de potássio em função do tempo (16:08:39 à 16:08:59) - Epicarpo de coco verde

Na figura 42 se demonstram os resultados das medições para três experimentos diferentes utilizando o epicarpo. Observa-se que a emissão máxima de potássio foi da ordem de aproximadamente 100 mg/m³. O processo de combustão das amostras durou um tempo médio de 14 a 21 segundos e nota-se que na maior parte do tempo a emissão é menor que 10 mg/m³.

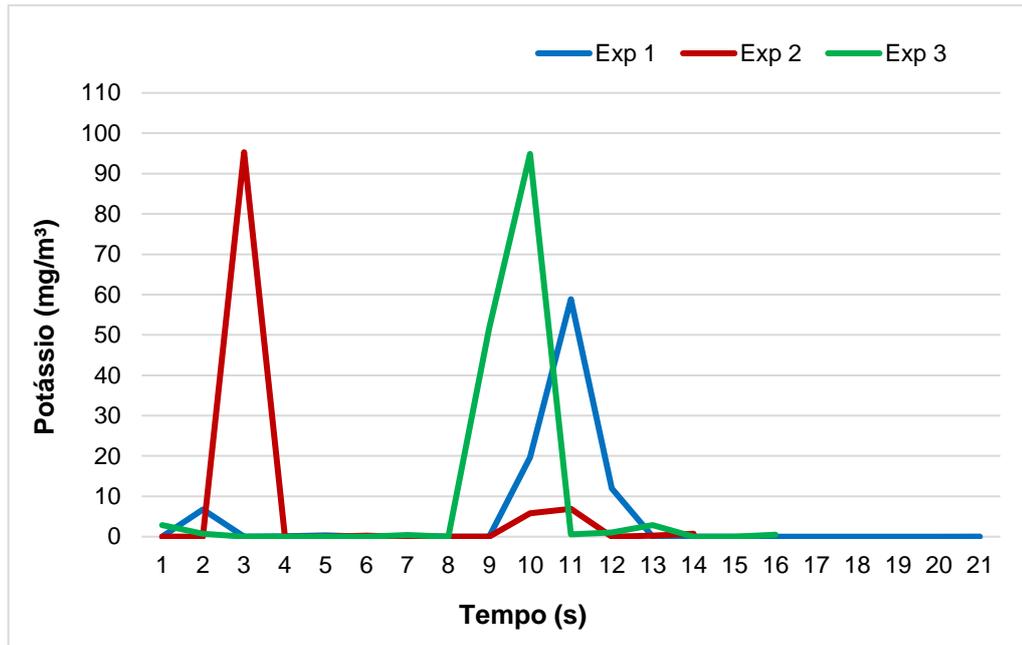


Figura 42 - Concentração de potássio em função do tempo - Epicarpo de coco verde

Na figura 43 se ilustra a variação da emissão do sódio para um dos três experimentos realizados com epicarpo indicando os valores para cada medição. Observa-se que a emissão de sódio é instável durante a combustão e a máxima concentração medida é da ordem de $0,52 \text{ mg/m}^3$.

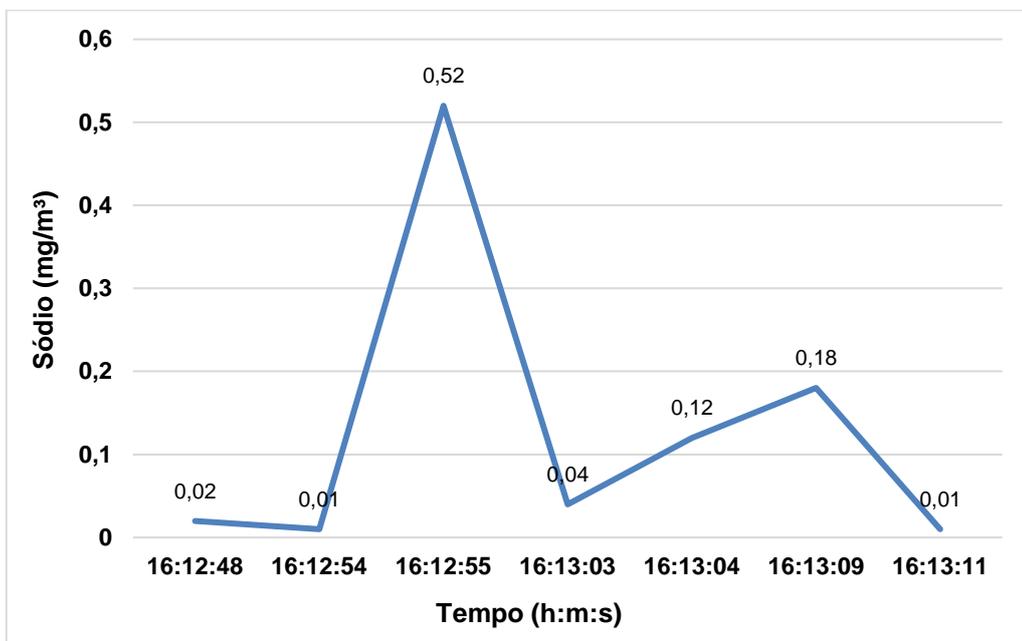


Figura 43 - Concentração de sódio em função do tempo (16:12:48 à 16:13:11) - Epicarpo de coco verde

Na figura 44 se ilustra a comparação da emissão de sódio durante a combustão do epicarpo para três experimentos diferentes. Verifica-se que nesses

experimentos a emissão de sódio foi menor que $0,52 \text{ mg/m}^3$. A média estatística foi de $0,09277 \text{ mg/m}^3$ e através dos valores numéricos obteve-se um desvio padrão de $0,09845 \text{ mg/m}^3$.

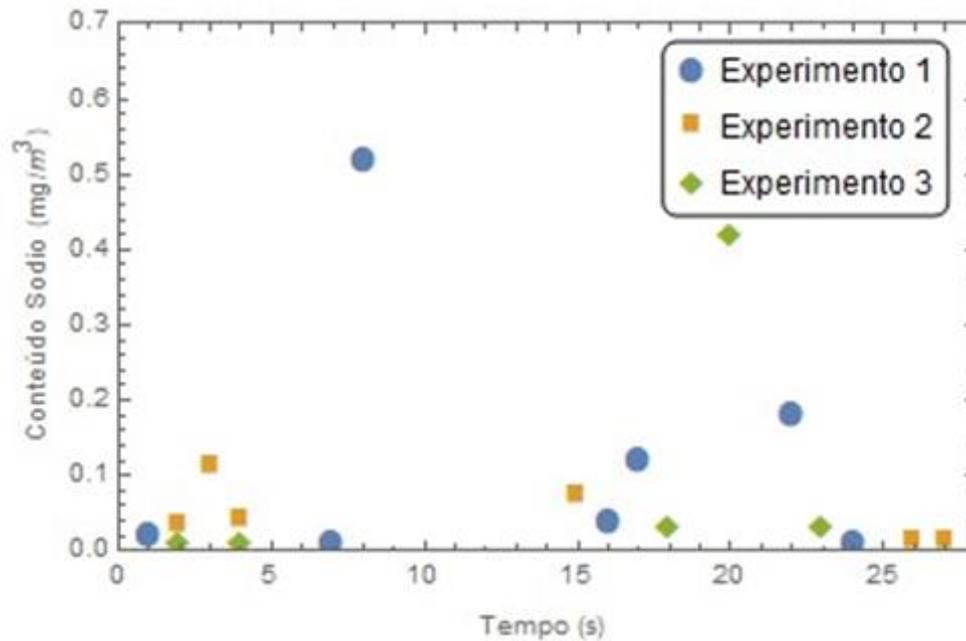


Figura 44 - Concentração de sódio em função do tempo - Epicarpo de coco verde

Na figura 45 se demonstra a variação da concentração de potássio de um dos experimentos utilizando mesocarpo de coco verde. A combustão também foi instável e de tipo difusivo levando um tempo médio de 30 segundos na avaliação das amostras. Observa-se uma emissão máxima na ordem de $117,53 \text{ mg/m}^3$ e ocorre emissões em níveis entre 10 e $77,54 \text{ mg/m}^3$.

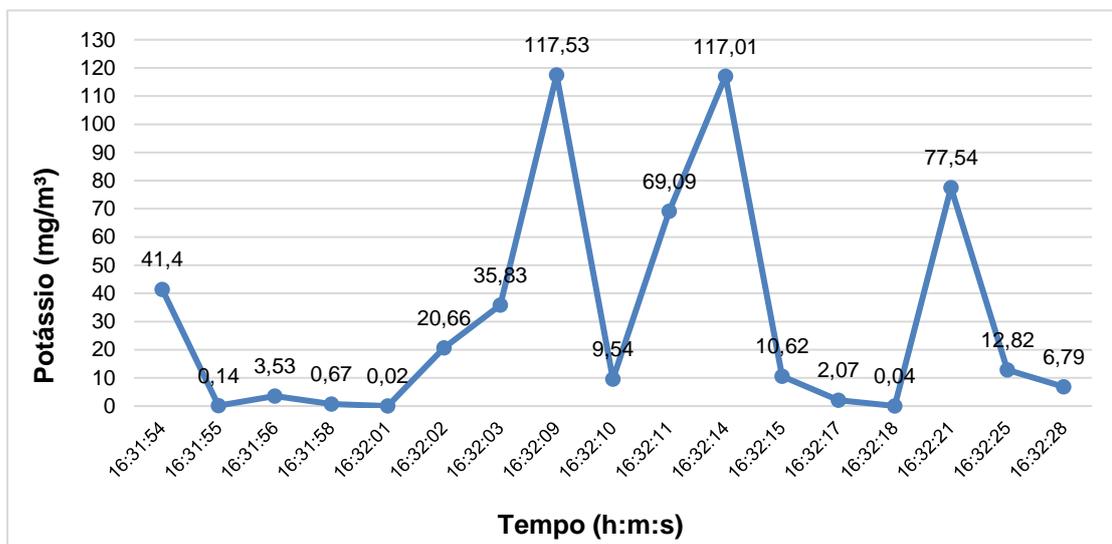


Figura 45 - Concentração de potássio em função do tempo (16:31:54 à 16:32:28) - Mesocarpo de coco verde

Na figura 46 tem-se a variação da emissão de sódio para um dos experimentos com mesocarpo indicando os valores para cada medição durante o processo de combustão. Observa-se uma instabilidade nos níveis emitidos e a máxima concentração medida foi de 0,19 mg/m³. Em geral a emissão de sódio é menor que no caso da combustão de epicarpo.

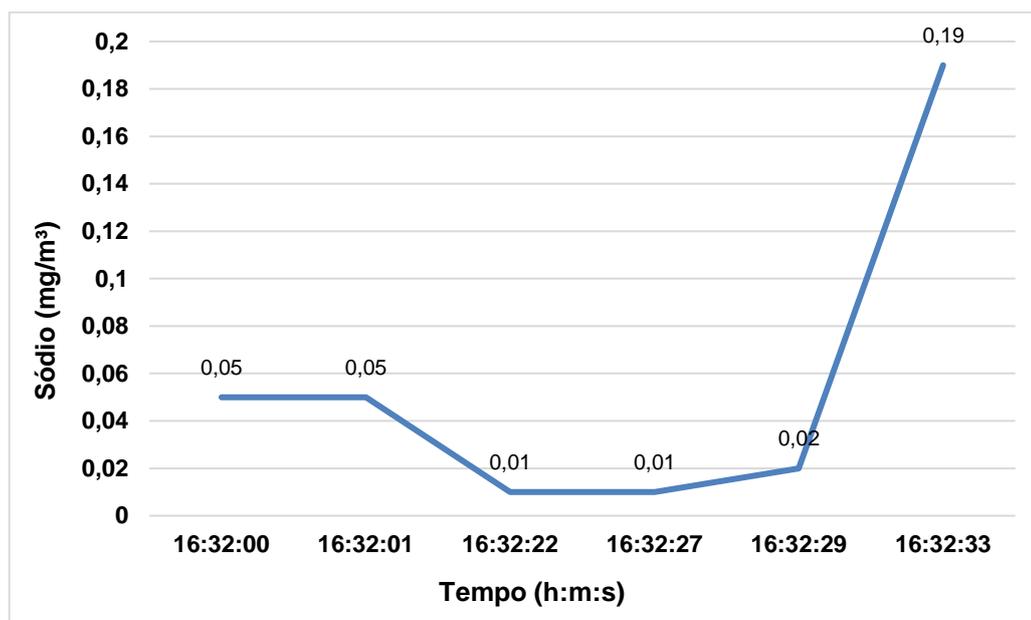


Figura 46 - Concentração de sódio em função do tempo (16:32:00 à 16:32:33) - Mesocarpo de coco verde

Na figura 47 se demonstra a variação da concentração de potássio para um dos experimentos utilizando endocarpo de coco verde. A ignição é mais lenta devido a sua maior densidade que se assemelha à madeira. A combustão é instável e de tipo difusivo. Nota-se que durante esse experimento chega-se a uma emissão máxima de potássio na ordem de 27,81 mg/m³ e concentrações em níveis menores à 5 mg/m³. A emissão de potássio é significativamente menor que a do mesocarpo e o processo de combustão da amostra levou em média 12 segundos.

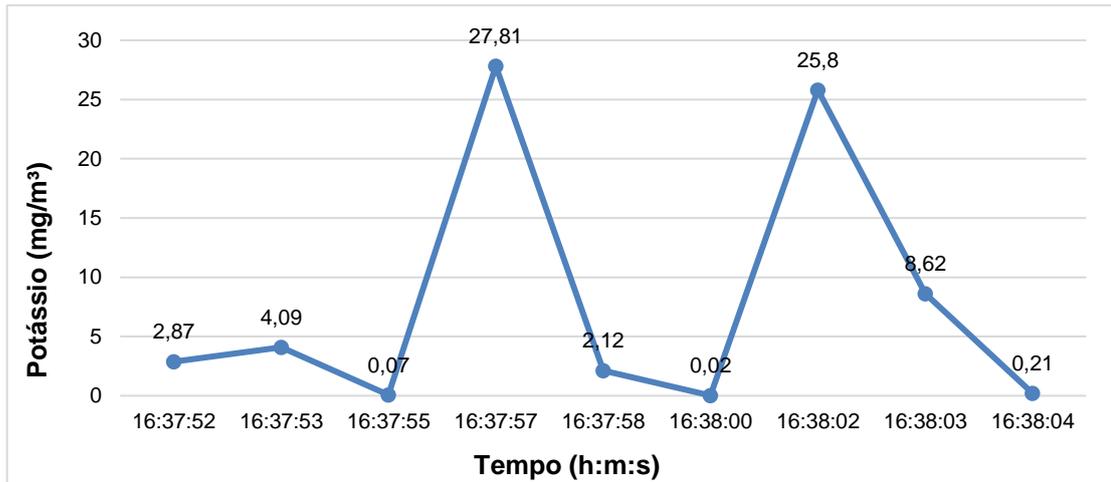


Figura 47 - Concentração de potássio em função do tempo (16:37:52 à 16:38:04) - Endocarpo de coco verde

A figura 48 ilustra a variação da emissão do sódio para um dos experimentos com endocarpo indicando os valores de emissão para cada medição. Observa-se que a emissão de sódio é constante durante a combustão e a máxima emissão medida é de 0,32 mg/m³. Em geral a emissão de sódio é maior que no caso da combustão de mesocarpo.

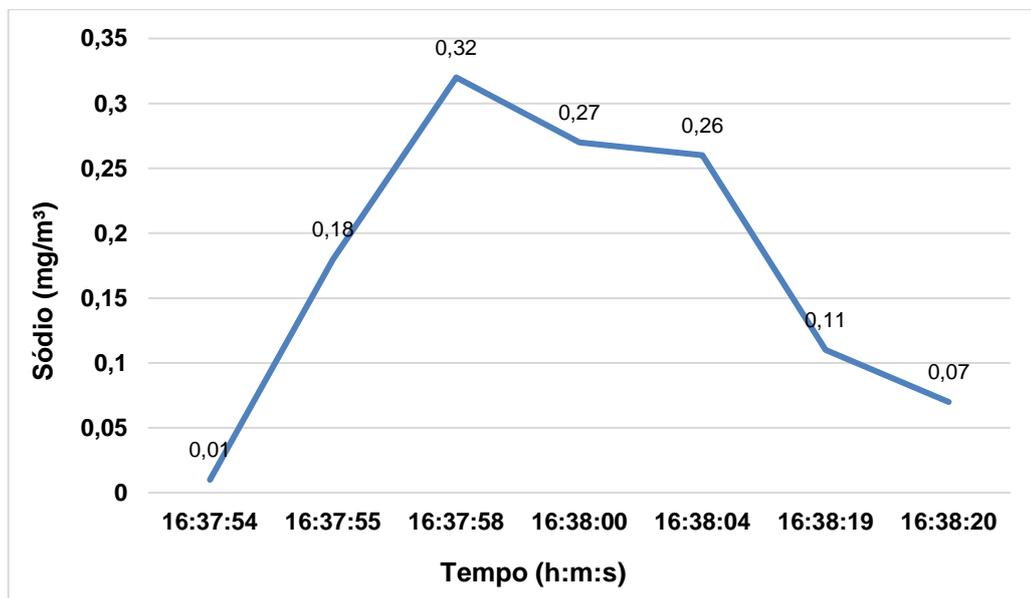


Figura 48 - Concentração de sódio em função do tempo (16:37:54 à 16:38:20) - Endocarpo de coco verde

A figura 49 ilustra a comparação da variação da concentração da emissão de sódio para a combustão do epicarpo, mesocarpo e endocarpo. Observa-se que durante o processo de combustão ocorre uma menor emissão de sódio para o mesocarpo e maior emissão para o endocarpo. Para a amostra total de biomassa de

coco verde incluindo as emissões do epicarpo, mesocarpo e endocarpo, tem-se uma média de $0,1185 \text{ mg/m}^3$ e obteve-se um desvio padrão de $0,1052 \text{ mg/m}^3$.

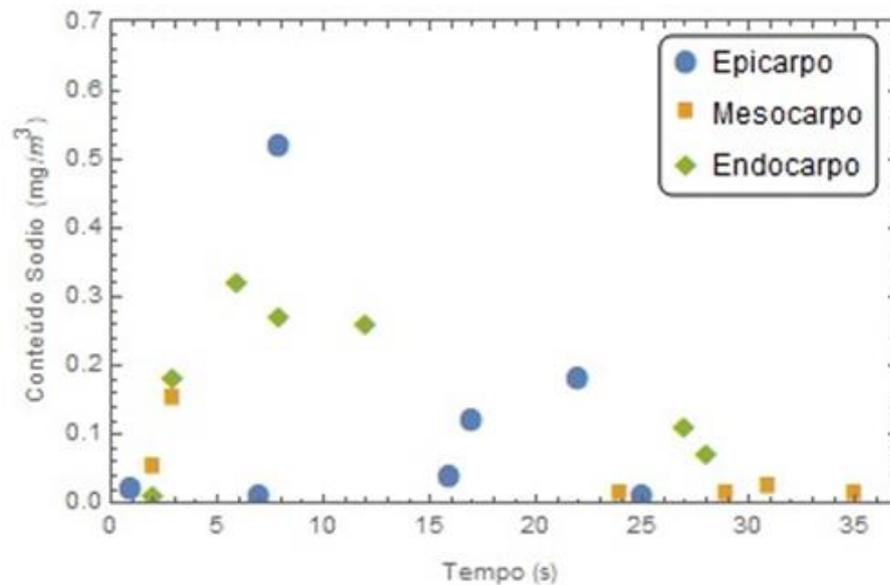


Figura 49 - Concentração de sódio em função do tempo - Epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde

Na figura 50 se ilustra o gráfico da mediana do conteúdo de sódio para as distintas partes da biomassa de coco verde a fim de observar a dispersão dos valores medidos. A mediana para a emissão de sódio foi de $0,04$, $0,015$ e $0,18 \text{ mg/m}^3$ respectivamente para o epicarpo, mesocarpo e endocarpo. Para o bagaço de coco verde que inclui as três composições da biomassa a mediana foi equivalente a $0,06 \text{ mg/m}^3$.

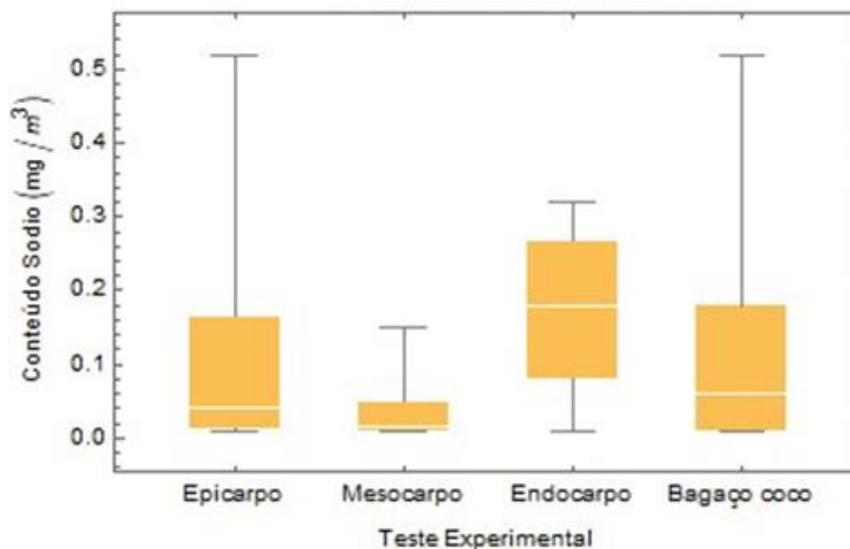


Figura 50 - Gráfico da mediana para a concentração de sódio na biomassa de coco verde

Na figura 51 se demonstra a comparação da variação da concentração da emissão de potássio para a combustão do epicarpo, mesocarpo e endocarpo. Observa-se que existe uma maior emissão na combustão do mesocarpo de coco verde com valores de aproximadamente 120 mg/m^3 . A menor emissão foi encontrada quando utilizado o endocarpo. Na figura 52 se apresenta um diagrama das medianas para a emissão de potássio. Foi encontrado que a mediana para o epicarpo, mesocarpo e endocarpo são respectivamente $0,22 \text{ mg/m}^3$, $10,62 \text{ mg/m}^3$ e $2,87 \text{ mg/m}^3$. Considerando todos os valores medidos de emissão para o bagaço de coco verde se obtém uma mediana de $5,41 \text{ mg/m}^3$.

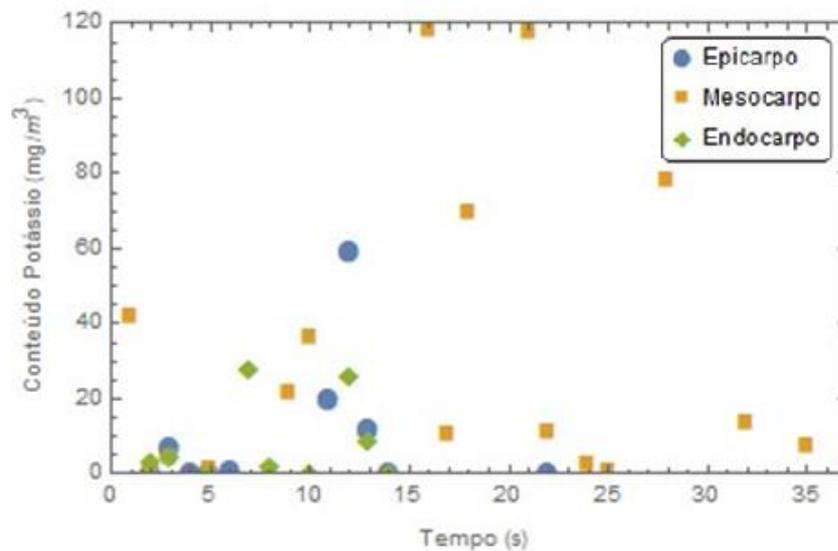


Figura 51 - Concentração de potássio em função do tempo - Epicarpo, mesocarpo e endocarpo de coco verde

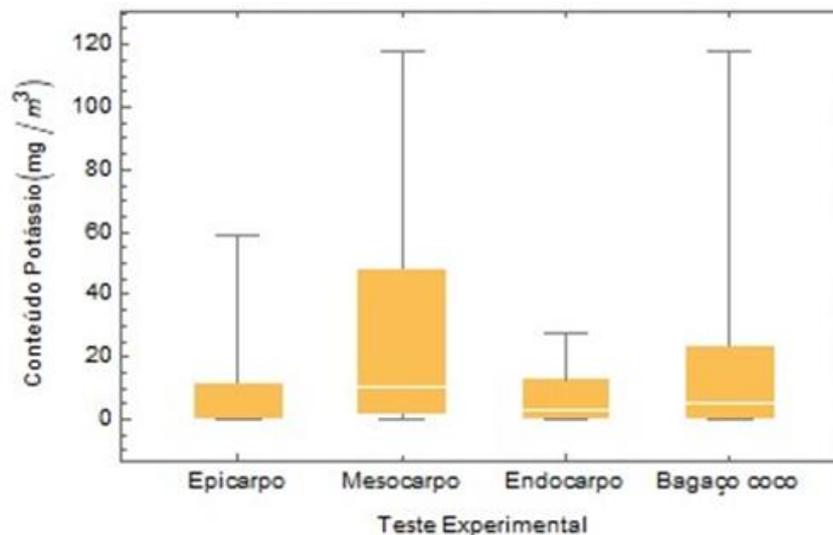


Figura 52 - Gráfico da mediana para a concentração de potássio na biomassa de coco verde

5 CONCLUSÕES

O trabalho de campo demonstrou que existe um grande potencial energético na biomassa contida nos resíduos de coco verde descartados na Baixada Santista. A estimativa realizada revelou que na temporada de verão de 120 dias (dezembro, janeiro, fevereiro e março) há um descarte diário estimado em 25.025 cocos/dia e 7.206 cocos/dia nas outras estações do ano. Esta quantidade de resíduos de coco verde causa efeitos poluentes na região e uma alternativa de reutilização pode ser através da combustão de sua biomassa sólida. Convertido em termos energéticos, estima-se que a biomassa de coco verde descartado no verão tem um potencial de energia da ordem de 59.328,7 MJ por dia, equivalente a 16.475,6 kWh por dia. O Potencial de Energia nas outras estações do ano é da ordem de 17.083,8 MJ por dia, equivalente a 4744,18 kWh por dia. Para termos de comparação, é possível dizer que o potencial de energia contido nos resíduos de biomassa de coco verde da Baixada Santista no verão é capaz de abastecer energeticamente 2.858 imóveis residenciais por mês e 823 imóveis mensalmente nas outras estações do ano.

Devido ao alto conteúdo de umidade da biomassa de coco verde, da ordem de 80 a 85 %, foi encontrado que etapas prévias de secagem mecânica e térmica são necessárias para viabilizar o processo de combustão da biomassa de coco verde. Utilizando métodos de espectrometria foi possível atingir o objetivo principal da pesquisa através da aplicação de cálculos da temperatura da combustão e estimativas da emissão de gases alcalinos (sódio e potássio). A temperatura calculada nos testes de combustão de bagaço de coco verde foi da ordem de 1000 a 1600 K.

Por meio das análises experimentais foi verificado que na combustão da biomassa do coco verde existe emissão de gases alcalinos, neste caso de sódio e potássio. Foram feitos testes de combustão com as diferentes partes que compõem a biomassa do coco verde, incluindo medições das emissões de sódio e potássio para amostras de epicarpo, mesocarpo e endocarpo. A média estatística da emissão de potássio para o bagaço de coco verde foi de 19,2967 mg/m³ com um desvio padrão de 22,16 mg/m³. A emissão de sódio para o conjunto de testes de combustão do resíduo de biomassa de coco verde teve uma média de 0,1185 mg/m³ com um desvio padrão de 0,1052 mg/m³. Considera-se que a via da conversão energética dos resíduos de coco verde é

factível. Novos estudos devem considerar as rotas de queima direta ou fabricação de briquetas de coco verde para queima.

Para fins do recolhimento das carcaças de coco verde descartadas nos pontos de venda, pode-se considerar como ponto forte a disposição dos quiosques alocados na orla das praias, o que facilitaria a coleta desse material para queima em larga escala em um eventual processo de geração de energia através da combustão de sua biomassa. Para a realização dessa coleta, o autor dessa obra propõe um planejamento entre os comerciantes responsáveis pelos estabelecimentos ou carrinhos de venda da água de coco com as empresas de coleta de lixo urbano a fim de viabilizar a logística de recolhimento dos resíduos de coco verde. Considera-se que a gestão do município utilizando alguns mecanismos de incentivos pode alentar investimentos para um eventual projeto de destinação para os resíduos sólidos de coco verde para geração de energia.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 19 de setembro de 2021.

Barisic V, Mahanen J, Zabetta EC. Role of Sodium vs. Potassium on Agglomeration and Corrosion in CFB Boilers. 2016, Prague, Czech Republic. Impacts Of Fuel Quality On Power Production, the 26th international conference. September 19-23, 2016, Prague, Czech Republic.

Bashir MS, Jensen PA, Frandsen F, Wedel S, Dam-Johansen K, Wadenback J, et al. Suspension-Firing of Biomass. Part 1: Full-Scale Measurements of Ash Deposit Build-up. *Energy & Fuels*. 2012;26(4):2317-30.

BITENCOURT, Daniela Venceslau. Potencialidades e estratégias sustentáveis para aproveitamento de rejeitos de coco (*Cocos nucifera* L.) 2008. 135 f. Tese (Pós-graduação) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008.

CABRAL, L. M. C.; PENHA, E. M.; MATTA, V. M. Água de coco verde refrigerada. Embrapa. Brasília, Distrito Federal, 2005.

CARMO, V. B. Avaliação da eficiência energética renovável de biomassas alternativas para geração de eletricidade. Tese (Doutorado - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP - Faculdade de Engenharia Química). Campinas, São Paulo, 2013.

CASTILHOS, Lisiane Fernanda Fabro de. Aproveitamento da Fibra de Coco. Paraná, 2011. 28 p. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY0MA==>. Acesso em: 19 de setembro de 2021.

CETESB - Inventário Estadual de Resíduos Urbanos (2018). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2019/06/Invent%C3%A1rio-Estadual-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Urbanos-2018.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

CHEN, W.; KUO, P. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. *Energy*, v. 35, n. 6, p. 2580-2586, 2010.

CORTEZ, L. A.B; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. (org). *Biomassa para energia*. Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2008.

CORTEZ, L.A.B; PEREZ, J. M. M.; ROCHA, J. Processamento de Casca e Fibra de Coco Verde por Carbonização para Agregação de Valor. *BioEng*, Campinas, v.3 n.1, p.021- 030, Jan/Abr., 2009.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 30, pp. 219–230, 2004.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 (ano base 2019). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario.pdf>. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

GARCIA, Roberto. *Combustíveis e combustão industrial*. Segunda edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

George Yaw Obeng, Derrick Yeboah Amoah, Richard Opoku, Charles K.K. Sekyere, Eunice Akyereko Adjei, and Ebenezer Mensah. Coconut Wastes as Bioresource for Sustainable Energy: Quantifying Wastes, Calorific Values and Emissions in Ghana, *Energies* 2020, 13 (9), 2178; <https://doi.org/10.3390/en13092178>

GOMES, Pimentel. *Floricultura Brasileira*. 13. ed. São Paulo: Nobel, 2007. 446 p.

He ZL, Lou C, Fu JT, Lim M. Experimental investigation on temporal release of potassium from biomass pellet combustion by flame emission spectroscopy. *Fuel*. 2019;253:1378-84.

IBGE - População residente estimada (2021).

Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579#resultado>

Acesso em: 20 de setembro de 2021.

IBGE - Produção Agrícola Municipal (2018).

Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>

Acesso em: 10 de agosto de 2020.

Lei Complementar nº 952, de 30 de dezembro de 2016. Disciplina o gerenciamento de resíduos sólidos.

Disponível em: <http://legislacao.camarasantos.sp.gov.br/Normas/Exibir/9066>

Acesso em: 20 de setembro de 2021.

Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

Acesso em: 22 de setembro de 2021.

LIRA, J. O. B.; SILVA, K. C. G.; ANDERSEN, S. L. F. Estudo das características de combustão de resíduos sólidos da região nordeste utilizando análise termogravimétrica. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), Florianópolis, 2014.

LORENZI, Harri. Frutas Brasileiras e Exóticas Cultivadas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2006. 640 p.

Lou C, Tian Y. Online Detection Method Of Concentration In Boiler Burning. United States Patent No.: US 9,651,480 B2. 2017.

MACHADO, L. J. Caracterização da biomassa do coco verde (cocos nucifera L.). Dissertação (Mestrado - Universidade Federal do Acre). Rio Branco, Acre, 2015.

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. Embrapa. Aracajú – SE, 2019.

MARTINS, C. R.; JÚNIOR, L. A. J. Produção e comercialização de coco no Brasil

frente ao comércio internacional: panorama 2014. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014.

MATTOS, A. L. A.; ROSA, M. F.; CRISÓSTOMO, L. A.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; VERAS, L. G. C. Beneficiamento da casca do coco verde. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011.

PASSOS, P. R. A. Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

PRADO, A. P. S.; TURBIANI, C. N.; SILVA, J. V. A. Estudo da viabilidade técnico da produção de papel a partir da fibra da casca do coco verde. Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2015.

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. F. M.; BRASIL, A. C. M.; CRUZ, D. O. A.; GUERRA, D. R. S.; MACÊDO, E. N.; ICHIHARA, J. A. Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida - Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

Ribeiro MCP, Nadal CP, da Rocha WF, Fragoso RMD, Lindino CA. Institutional and Legal Framework of the Brazilian Energy Market: Biomass as a Sustainable Alternative for Brazilian Agribusiness. Sustainability. 2020;12(4):10.

ROCHA, A. M. Apropriação do Conhecimento Científico da Cadeia Produtiva do Biodiesel: Ênfase no PNPB, Congressos, Artigos e Patentes. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2013.

ROCHA, A. M.; SILVA, M. S.; FERNANDES, F. M.; SOARES, P. M.; KONISH, F. Aproveitamento de Fibra de Coco para fins Energéticos: Revisão e Perspectivas. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2015.

Rosow, RA. Blackbody temperature calculations from visible and near-ir spectra for gas-fired furnaces [Tese Doutorado]. Columbia: Faculty of the Graduate School

University Of Missouri-Columbia; 2005.

SALINAS, C. T.; CÂNDIDO, P. R. T.; LOU, C.; ALDANA, D. M. Estimation of Flame Temperature and Alkali Emission During the Combustion of Sugarcane Bagasse in Laboratory in Combustion Chamber Type Grate Using Spectroscopy Method. ASRJETS, 2020.

SAMPAIO, R.P. Estudo de caso dos possíveis efeitos deletérios causados pelo combustível derivado de resíduo (CDR) em caldeiras voltadas a produção de energia elétrica queimando principalmente bagaço de cana. Dissertação de Mestrado. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

SANTOS, D. B. Análise térmica de operações de caldeira de bagaço de cana-de-açúcar baseado em dados de monitoramento real. Dissertação de Mestrado. Santos: Universidade Santa Cecília, 2019.

SILVEIRA, M. S. Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador – BA. Salvador, Bahia, 2008. Dissertação (Mestrado - Universidade Federal da Bahia, 2008.

VALE, A. C.; PINTO, I. C.; SOARES, J. B. Estudo laboratorial da viabilidade do uso de fibras de coco em misturas asfálticas do tipo SMA. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2007.

VAN DAM, J. E.; OEVER, M. J. A.; TEUNISSEN. W.; KEIJSERS, E. R. P.; PERALTA, A. G. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk: Part 2: Coconut husk morphology, composition and properties. *Industrial Crops and Products*, v. 24, n. 2, p. 96-104, 2006.

Yan WJ, Lou C, Cheng Q, Zhao P, Zhang XY. In Situ Measurement of Alkali Metals in an MSW Incinerator Using a Spontaneous Emission Spectrum. *Applied Sciences-Basel*. 2017;7(3).

Yan WJ, Zhou H, Jiang Z, Lou C, Zhang X, Chen D. Experiments on Measurement of

Temperature and Emissivity of Municipal Solid Waste (MSW) Combustion by Spectral Analysis and Image Processing in Visible Spectrum. *Energy Fuels* 2013, 27, 6754–6762.

Y.P. Sun, C. Lou, H.C. Zhou. A simple judgment method of gas property of flames based on spectral analysis and the two-color method for measurements of temperatures and emissivity, *Proc. Combust. Inst.* 33 (2011) 735–741.

Z.W. Jiang, Z.X. Luo, H.C. Zhou. A simple measurement method of temperature and emissivity of coal-fired flames from visible radiation image and its application in a CFB boiler furnace, *Fuel* 88 (2009) 980–987.

APÊNDICE A: Questionário para os quiosques e carrinhos da faixa de areia dos municípios da Baixada Santista.

Instrumento de coleta de dados para estimar a quantidade de coco verde comercializado nas praias dos municípios da Baixada Santista.

Mestrando: Paulo Henrique Martins do Nascimento

Orientador: Prof. Dr. Carlos Teófilo Salinas Sedano

Município: _____

Praia: _____

Nome do entrevistado: _____

Nome do quiosque ou carrinho de praia: _____

Horário de funcionamento: _____

Data: ____ / ____ / ____

1. QUIOSQUE OU CARRINHO DE PRAIA

a) Desconsiderando a pandemia, quantos cocos em média são vendidos diariamente pelo seu estabelecimento no verão (temporada)?

R: _____

b) Desconsiderando a pandemia, quantos cocos em média são vendidos diariamente pelo seu estabelecimento nas outras estações do ano (fora da temporada)?

R: _____

2. COLETA DE COCO VERDE DESCARTADO

a) Qual a empresa que recolhe a carcaça de coco verde descartado?

R: _____

b) Quais os dias da semana e quantas vezes por dia é realizado o serviço?

R: _____

Assinatura: _____