



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Marcus Vinicius Ribeiro Matias Junior

**Análise de eficiência de um forno artesanal para produção  
de biocarvão**

CRUZ DAS ALMAS- BA

2021

Marcus Vinicius Ribeiro Matias Junior

## **Análise de eficiência de um forno artesanal para produção de biocarvão**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Vânio Vicente S. de Souza

CRUZ DAS ALMAS- BA

2021

Marcus Vinicius Ribeiro Matias Junior

**Análise de eficiência de um forno artesanal para produção  
de biocarvão**

Aprovado(a) em,                      de                      de 2021.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Profº Me. Vânio Vicente Santos de Souza UFRB**  
**Orientador**

---

**Profº Msc. Gilmar Emanuel Silva de Oliveira**  
**Examinador 01**

---

**Profº Msc. Lucas Barbosa Carneiro**  
**Examinador 02**

“Queremos ter certezas e não dúvidas, resultados e não experiências, mas nem mesmo percebemos que as certezas só podem surgir através das dúvidas e os resultados através das experiências.”

Carl Jung

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar a Deus

Aos meus pais, pelo carinho, aprendizado e incentivo

Agradeço as minhas irmãs pelo apoio

Aos meus amigos de curso pelo companheirismo

Aos funcionários do IFBaiano pelo suporte

Ao meu orientador pela paciência e instruções

## RESUMO

O biocarvão tem se mostrado uma alternativa viável para o aproveitamento de resíduos provenientes das atividades agrícolas e industriais. O presente trabalho objetivou adaptar um forno artesanal utilizado para produção de biocarvão de resíduos da produção de azeite de dendê no Instituto Federal Baiano (*campus* Valença), com intuito de identificar as temperaturas atingidas e encontrar uma melhor configuração para produzir biocarvão. O experimento consistiu em mudanças nas aberturas de entrada de ar do cilindro externo do forno (câmara de combustão), com variações no diâmetro para 20 mm, 30 mm e 40 mm, com obtenção das curvas de variação de temperatura para cada ensaio. Utilizou-se um sensor termopar tipo k-MAX6675 e uma placa Arduino Uno conectada a um notebook para a medição da temperatura no interior do reator. Os resultados indicam que há uma influência importante das áreas das entradas de ar do forno na variação de temperatura e consequente no rendimento da produção de biocarvão, evidenciando uns melhores rendimentos para os fornos adaptados com entradas de 30mm e 40mm. O rendimento da produção de biocarvão para a configuração com furos de 40 mm, apresentou melhores resultados chegando a 30%. No desempenho térmico a configuração com furos de 30 mm apresentou se mostrou mais eficiente chegando a temperaturas elevadas mais rápido e alcançando temperatura máxima de 677°C e rendimento de 27,5%. Com o estudo das áreas de trabalho dos gráficos foi possível nortear modificações permanentes e de maior eficiência térmica para o forno em estudo.

Palavras-chave: Biocarvão, forno artesanal, eficiência térmica.

## **ABSTRACT**

Biochar has been shown to be a viable alternative for the use of residues from agricultural and industrial activities. The present work aimed to adapt an artisanal oven used for the production of biochar from residues from the production of palm oil at the Instituto Federal Baiano (Campus Valença), in order to identify the temperatures reached and find a better configuration to produce a biochar. The experiment consisted of changes in the air inlet openings of the oven's external cylinder (combustion chamber), with variations in diameter 20 mm, 30 mm and 40 mm, with the obtaining of temperature variation curves for each test. A thermocouple sensor type k-MAX6675 and an Arduino Uno board connected to a notebook were used to measure the temperature inside the reactor. The results indicate that there is an important influence of the areas of the kiln air inlets on the temperature variation and consequently on the yield of biochar production, showing a better yield in production for the configuration with 40 mm holes, reaching 30%. In terms of thermal performance, the configuration with 30 mm holes presented better results, reaching higher temperatures faster and reaching a maximum temperature of 677°C and an efficiency of 27.5%. With the study of the work areas of the graphics, it was possible to guide permanent changes and greater thermal efficiency for the furnace under study.

Palavras-chave: Biochar, Thermocouple, Oven

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Forno de cerâmica com cerca de 6mil anos encontrado na china .....	16
Figura 2: Ciclo do carbono natural (a) Ciclo do carbono com aplicação e Biocarvão (b) .....	18
Figura 3: Arduino UNO utilizado no experimento .....	20
Figura 4: Termopar tipo K utilizado para a coleta de dados .....	21
Figura 5: a) Variação de temperatura na pirólise de casca do fruto do baru (>40mesh); b) Representação das regiões A, B e C e pontos de medição de temperatura no forno. .....	23
Figura 6: Forno original para produção de biocarvão .....	24
Figura 7: Fluxograma de trabalho .....	25
Figura 8: Croqui do forno artesanal em estudo .....	26
Figura 9: Adaptações em andamento nas novas câmaras de combustão. ....	27
Figura 10: Representação das câmaras de combustão (tonéis) utilizados no experimento.....	28
Figura 11: Reator aberto durante a inserção de resíduos .....	28
Figura 12: Montagem do Arduino com termopar .....	29
Figura 13: Ligação do sistema de medição e coleta de dados.....	30
Figura 14: Combustível (a) e Resíduos (b) sendo pesados momentos antes do ensaio 1. ....	31
Figura 15: Preparação e inserção do resíduo no sistema. ....	31
Figura 16: Ensaio em andamento .....	32
Figura 17: Gráfico Temperatura x Tempo – Ensaio do forno adaptado com aberturas de 20 mm de diâmetro. ....	34
Figura 18: Gráfico Temperatura x Tempo – Ensaio do forno adaptado com aberturas de 30 mm de diâmetro. ....	35
Figura 19: Gráfico Temperatura x Tempo – Ensaio do forno adaptado com aberturas de 40 mm de diâmetro. ....	35
Figura 20: Biocarvão gerado nos ensaios (a) 40mm (b) 30mm (c) 20mm .....	37
Figura 21: Dados de temperatura de pirólise para as três configurações avaliadas .	37
Figura 22: Regiões de estudo e pontos de referência .....	39



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Rendimento de produto por métodos de pirólise .....	19
Tabela 2: Pesos de entrada e saída do sistema .....	38
Tabela 3: Resultados da análise do gráfico de temperatura no tempo do forno adaptado com aberturas de 20 mm.....	39
Tabela 4: Resultados da análise do gráfico de temperatura no tempo do forno adaptado com aberturas de 30 mm.....	39
Tabela 5: Resultados da análise do gráfico de temperatura no tempo do forno adaptado com aberturas de 40 mm.....	40

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	12
<b>1.1. Problema da pesquisa</b> .....	14
<b>1.2. Justificativa</b> .....	14
<b>1.3. Objetivo Geral</b> .....	14
<b>1.4. Objetivos específicos</b> .....	15
<b>1.5. Estrutura da monografia</b> .....	15
<b>2. Referencial Teórico</b> .....	16
<b>2.1. Fornos e Utilizações</b> .....	16
<b>2.2. Biocarvão</b> .....	17
<b>2.3. Pirólise</b> .....	19
<b>2.4. Instrumentação</b> .....	20
<b>2.4.1. Arduino</b> .....	20
<b>2.4.2. Termopar</b> .....	21
<b>2.5. Eficiência Térmica de forno em campo</b> .....	22
<b>3. Materiais e Métodos</b> .....	24
<b>3.1. Local de estudo</b> .....	24
<b>3.2. Fluxograma da Metodologia</b> .....	25
<b>3.3. Materiais utilizados no projeto</b> .....	26
<b>3.3.1. Câmara de combustão</b> .....	27
<b>3.3.2. Reator</b> .....	28
<b>3.3.3. Preparação e obtenção de dados</b> .....	29
<b>4. Resultados de Discussões</b> .....	34
<b>4.1. Análise Gráfica</b> .....	38
<b>5. Conclusões</b> .....	41
<b>6. Sugestões de trabalhos futuros</b> .....	43

<b>7. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>44</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>48</b>
<b>9. APÊNDICE A .....</b>	<b>51</b>

## 1. Introdução

A disposição inadequada de resíduos provenientes das atividades agrícolas e industriais tem causado sérios passivos ambientais. Uma alternativa viável para o aproveitamento desses resíduos é sua utilização como biocarvão.

O biocarvão é percebido pela comunidade acadêmica através da observação das manchas escuras nos solos da Amazônia associadas a comunidades indígenas. Com o estudo dessas áreas foi descoberto uma grande fertilidade, diferente de alguns outros solos encontrados na mesma região. Foram encontrados elementos como carvão vegetal, restos de cerâmicas e resíduos de materiais, que indicam um solo de construção antropogênica, ou seja, construído pela ação humana (MANGRICH, et. al., 2011). Dessa forma, muitas pesquisas vêm sendo realizadas no mundo utilizando biocarvão produzido a partir de resíduos agrícolas, visando a melhoria da qualidade do solo e o aproveitamento econômico dos resíduos (GONZAGA et. al., 2019).

Também conhecido como “biochar”, o biocarvão é produzido através da pirólise, decomposição térmica de material orgânico com fornecimento limitado de oxigênio a temperaturas relativamente baixas (< 700 °C) (TRAZZI et. al., 2018). Quando utilizado no solo, o biocarvão além de proporcionar uma boa gestão dos resíduos, pode possibilitar bons resultados na melhoria das condições químicas e físicas do solo (REZENDE et al., 2011) e, conseqüentemente resultados positivos no que se refere à rentabilidade agrícola, inclusão social, e gestão da poluição.

Na região do Baixo Sul da Bahia, muitas culturas de importância econômica são cultivadas, entre elas destaca-se a cultura do dendê (*Eaelis guineenses* Jacq) que tem importante impacto na economia local e regional. O município de Valença se destaca na região pela produção e comercialização de azeite de dendê, com predomínio de pequenos produtores da agricultura familiar.

O azeite de dendê, conhecido como óleo de palma (palm oil) internacionalmente, é um produto obtido da fruta do dendezeiro, uma árvore tropical originária da África. Segundo Rodrigues (2009) o azeite de dendê passou a ser o segundo óleo vegetal de maior importância, atrás apenas do óleo de soja. Do processamento dos frutos do dendezeiro são obtidos uma variedade de produtos e subprodutos, como óleo de

palma bruto, óleo de palmiste, torta de palmiste, engaços, fibras e cascas. Ademais, de acordo com Zimmer (2010), a palma apresenta potencial produtivo elevado, com custo de produção inferior às principais oleaginosas.

No Baixo Sul, existem indústrias beneficiadoras, além de unidades artesanais e mecanizadas que utilizam pilões ou roldões para beneficiamento do produto (NOVAIS JUNIOR et. al., 2009). No entanto, o processamento do dendê produz uma grande quantidade de resíduos que são na maioria das vezes lançados no ambiente, causando contaminação ambiental. O aproveitamento desses resíduos como biocarvão, além de proporcionar um destino adequado, se configura também em uma alternativa viável para sua utilização na agricultura, principalmente de base agroecológica e orgânica em substituição a insumos químicos.

Na produção do biocarvão, além do material utilizado, o tempo e a temperatura são fundamentais para as características adequadas do produto. (TRAZZI et. al., 2018).

De acordo com Trompowsky et al., (2005), a temperatura de carbonização configura-se como o fator que mais exerce influência sobre as propriedades físicas do biochar. Com isso é de grande importância que a queima dos resíduos para a produção de biocarvão seja feita de forma adequada.

O Instituto Federal Baiano (IFBaiano) utiliza um forno artesanal para obtenção de biochar utilizando resíduos da produção de azeite de dendê da região do baixo sul da Bahia. O forno possibilita que ocorra a pirólise que acontece em uma câmara interna do forno (reator), submetido a ambiente de baixa concentração de oxigênio e temperaturas anteriormente desconhecidas. O forno foi fabricado na região e é utilizado pelo instituto para pesquisas da aplicação do biocarvão no solo.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou adaptar um forno artesanal para produção de biocarvão, no intuito de aumentar sua eficiência, produzir um biocarvão de melhor qualidade para a utilização em solo, e proporcionar a utilização dessa tecnologia pelos produtores rurais.

## **1.1. Problema da pesquisa**

O IFBaiano, *campus* Valença, possui um forno artesanal para a produção de biocarvão utilizando os resíduos da produção de azeite de dendê da região do baixo sul da Bahia. Porém sua eficiência e sua melhor configuração eram desconhecidas, de modo que a necessidade de um estudo e uma possível adaptação surgiu. Inicialmente com a problemática e estudo do tamanho e quantidade de aberturas de admissão de ar no forno e o estudo e verificação das temperaturas internas alcançadas. Com base nessa problemática foram feitos estudos para encontrar um modelo mais eficiente.

## **1.2. Justificativa**

A grande quantidade de resíduos provenientes da produção de azeite de dendê traz consigo a necessidade da reutilização desses produtos, minimizando assim os impactos ambientais e aproveitando os resíduos para produção de biocarvão, produto esse que pode ser utilizado como fertilizante no solo. Para que esse processo ocorra é necessário fazer a pirólise da bucha de dendê, utilizando um forno artesanal. O IFBaiano (*campus* Valença) utiliza dessa prática porém não havia um estudo prévio sobre a eficiência do forno em uso, portanto não era conhecido a melhor configuração de queima para a obtenção de um biocarvão de qualidade. Com isso se fez necessário e oportuno o estudo e adaptações para melhoria do forno utilizado.

## **1.3. Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência de um forno para aumento de desempenho na produção de biocarvão.

#### **1.4. Objetivos específicos**

- Adaptação e instrumentação de um forno de médio porte;
- Avaliar as variações de temperatura com diferentes perdas de carga na admissão de ar
- Avaliar as taxas de calor utilizando gráficos gerados da medição de temperatura durante a queima de resíduo;
- Comparar os rendimentos dos fornos e definir a configuração que apresente o melhor rendimento.

#### **1.5. Estrutura da monografia**

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco partes: introdução, referencial teórico, materiais e métodos, resultados e discussões e conclusão. Após introdução procede com referencial teórico com vistas a contextualizar o tema.

Na metodologia, foi apresentada as adaptações no forno, assim como todo o processo de instrumentação e ensaio, detalhando cada etapa para facilitar a compreensão. Um fluxograma no início desse capítulo apresenta o passo a passo do trabalho desde o início com as aquisições até o processo final do experimento.

Nos resultados e discussões, são apresentados os gráficos coletados dos experimentos e discutido o comportamento térmico de cada forno, comparando a eficiência entre eles e chegando a uma configuração mais adequada.

Na conclusão são apresentadas as considerações do estudo desenvolvido e também sugeridas propostas futuras.

Na referência bibliográfica encontram-se todos os conceitos fundamentais e pesquisas resultantes sobre o tema e pertinentes para a construção do trabalho.

## 2. Referencial Teórico

Considerando as necessidades de sustentabilidade e a disponibilidade de recursos para os fornos artesanais para a produção de biocarvão com resíduos da produção de azeite de dendê são elencadas algumas referências teóricas sobre o objeto de pesquisa.

### 2.1. Fornos e Utilizações

A evolução do forno é tão antiga quanto a necessidade de utilizar o fogo de forma mais controlada. Alguns dos primeiros fornos datam de 29.000 A.c na Europa central, de estrutura simples e rustica serviam como um recipiente de estocagem e um tipo de lareira nos seus primeiros formatos.

O forno como é conhecido hoje, passou por diversas evoluções com o passar do tempo, utilizados pelos egípcios, gregos, romanos e judeus na confecção de cerâmica, feitos de pedras e tijolos, utilizando geralmente a madeira como combustível sempre esteve presente na história da humanidade. Sua utilização passou a ser cada vez mais importante e sua eficiência ainda mais rastreável com o surgimento das indústrias na revolução industrial e a necessidade de melhorias nos processos. (GRELANE, 2018).

Figura 1: (a) Forno de cerâmica com cerca de 6mil anos encontrado na china (b) Forno industrial



(a)

(b)

Fonte: Malva 2020, Chui 2020



## 2.2. Biocarvão

Segundo Mourad et al, (2004) por ser um grande produtor agrícola, o Brasil tem grande expressividade na geração de biomassa residual provinda dos processos de colheita e processamento no setor. Diversas alternativas vêm sendo testadas para a diminuição e reaproveitamento dos resíduos que podem vir a causar grande impacto ambiental, uma delas é a transformação dos resíduos em biocarvão.

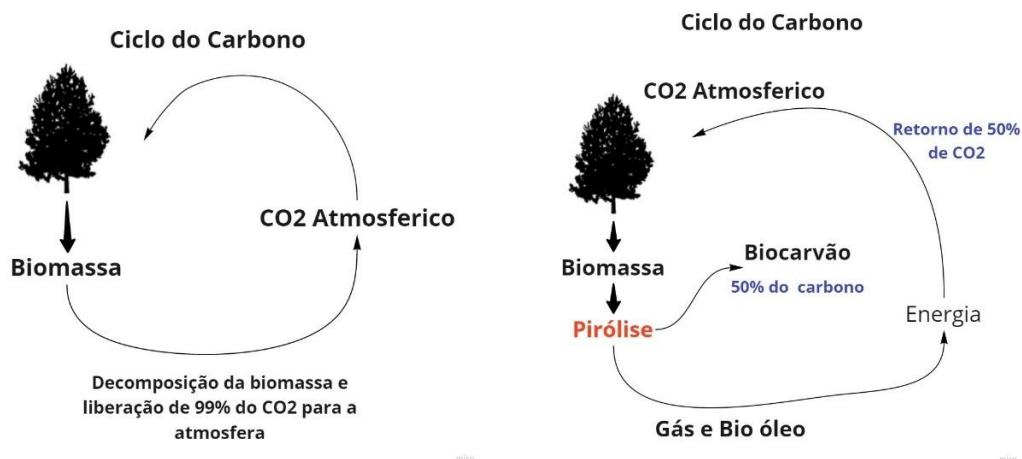
De acordo com Schena Thiago (2019) o biocarvão ou biochar é o resíduo sólido rico em carbono, que resulta da pirólise de uma certa biomassa. Esse material pode ser utilizado tanto como combustível quanto como aditivo para o solo, trazendo para esse segundo uma renovação dos teores de carbono e nitrogênio por exemplo. Segundo Mollinedo et. al., (2015) o biocarvão tem ainda a capacidade de aumentar a retenção de água nos diferentes solos podendo chegar até 25% a mais do que um solo sem sua utilização.

O uso de biocarvão permite harmonizar a produção de alimentos, com aproveitamento de resíduos para o sequestro de carbono e o aumento da fertilidade do solo, além de ter um potencial resposta para questões que afligem o mundo nas últimas décadas, como a degradação de solos, falta de alimento e fertilizantes e diminuição dos gases do efeito estufa. (REZENDE et. al., 2011).

Para Da Silva (2016), 99% do carbono dos resíduos são emitidos para a atmosfera quando estes utilizados no solo normalmente, no entanto, esse percentual cai para 50% quando os resíduos são transformados em biocarvão, onde o carbono permanece no solo por muito mais tempo, fornecendo suas propriedades para benefício do solo.

Esse processo é representado na figura 2, através do ciclo do carbono em condições naturais no ambiente e quando utilizado como biocarvão.

Figura 2: Ciclo do carbono natural (a) Ciclo do carbono com aplicação e biocarvão (b)



Fonte: Adaptado de Biochar Solutions inc. (2011)

A produção de biochar se dá por meio da decomposição térmica de matéria orgânica na ausência ou com baixos teores de oxigênio, semelhante à produção de carvão para energia e direcionado para a aplicação no solo com objetivo de melhorar sua produtividade, além de promover o estoque de carbono no solo (YANG et. al., 2007; ANGIN & SENSOZ, 2014).

Sendo bastante estável no solo o biocarvão tem potencial de aumentar a capacidade de retenção de água, porosidade e densidade do solo, isso ocorre na medida em que a pirólise aumenta a porosidade do biocarvão produzido, e essa alta densidade de poros, faz com que a superfície de troca do material permita alterações nas propriedades do solo (AL-WABEL et. al., 2013). O aumento da porosidade com a temperatura de pirólise está associado a formação de estruturas aromáticas altamente ordenadas. (AL-WABEL et. al., 2013) O biocarvão é também fonte de P, K e alguns outros elementos que se encontram de forma mais disponível do que na matéria prima que se originou. (SOHI et. al., 2010)

A obtenção do biocarvão se dá através de muitos processos e sua qualidade dependerá do tipo e da matéria prima, sendo sempre diferentes de uma fonte para outra (SOHI et. al., 2010).

## 2.3. Pirólise

A pirólise é a decomposição térmica de materiais na ausência ou baixa concentração de oxigênio, de forma que não ocorra a combustão do mesmo, com temperaturas que variam geralmente de 300 a 600°C. São gerados a partir desse processo produtos líquidos representados pelo bio-óleo, sólidos que podem ser utilizados no solo em forma de biocarvão, ou para geração de energia como carvão e gasosos contendo monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e outros. (CARVALHO, 2016)

A degradação térmica na pirólise para produção de biocarvão se dá através de três principais processos, (BROWN, 2009; BROWNSORT, 2009; MCCARL et al., 2009) sendo eles:

**Pirólise Lenta:** Transformação da biomassa pelo aquecimento em baixas e médias temperaturas, na ausência ou baixo teor de oxigênio.

**Pirólise Rápida:** Na pirólise rápida a biomassa passa por um aquecimento muito rápido, o que resulta uma proporção menor de biocarvão e maior de bio-óleo

**Gaseificação:** É processo de pirólise em altas temperaturas, onde o biocarvão é um subproduto.

Esses três tipos de pirólise têm como principais agentes a temperatura, o tempo em que o resíduo fica no reator e a taxa de aquecimento, onde o rendimento da produção e as condições vão depender diretamente do tipo de pirólise utilizada.

Na tabela a seguir é possível observar o rendimento médio para cada tipo de pirólise ligado a condições de temperatura e tempo.

Tabela 1: Rendimento de produto por métodos de pirólise

Tipos de Pirólise	Condições		Rendimento (%)		
	Temperatura (C°)	Permanência	Biocarvão	Bio-óleo	Gases
<b>Lenta</b>	200 -750	5-30 mim	35 (2-60)	30(0-60)	35(0-60)
<b>Intermediária</b>	320-500	10-20 mim	20(19-73)	50(19-73)	30(9-32)
<b>Rápida</b>	400-750	1-5 seg	12(0-50)	75(10-80)	13(10-30)
<b>Gaseificação</b>	>750	10-20 seg	10	5	85

Em parênteses as informações de amplitude Brown (2009)

Fonte: (TRAZZI et al., 2018).

A temperatura, o tipo de reator, taxa de aquecimento, tempo da queima e a influência das propriedades da biomassa, são alguns dos principais fatores que afetam diretamente o rendimento e os resultados da pirólise. (MACEDO, 2012)

## 2.4. Instrumentação

Conceito dos instrumentos utilizados na coleta de dados do presente trabalho.

### 2.4.1. Arduino

O Arduino é um controlador lógico programável de baixa potência, utilizado para processar dados de sensores e dispositivos conectados a ele. É formado basicamente por 2 componentes, sendo a placa em si (Figura 3) que representa o elemento físico de hardware utilizado para acoplar os demais objetos auxiliares e a IDE (Integrated Development Environment) que é um programa instalado e executado no computador onde é necessário escrever um código de programação, esse código faz upload para a placa e assim é possível executar o programa. Resumidamente é um dispositivo de hardware com um sistema de software que interagem com o ambiente (MCROBERTS, 2011).

Figura 3: Arduino UNO utilizado no experimento



Fonte: Autor (2021)

Há uma grande diversidade de modelos e placas de Arduino, porém a mais utilizada é a versão UNO (Figura 3). Tanto o hardware quanto o software do Arduino pode ser utilizado livremente por ser de fonte aberta (MCROBERTS, 2011).

## 2.4.2. Termopar

Um Termopar é um transdutor constituído pela junção de dois tipos de metais diferentes, tendo seus conceitos básicos descobertos por Thomas Johann Seebeck, em 1821, que notou que, ao ser submetido a um gradiente de temperatura um metal gera uma certa tensão, e com a união de dois metais distintos, é possível medir a diferença de tensão gerada. (FURUKAWA, 2012).

A junção dos metais se dá em uma pequena área, permitindo a medição da variação de temperatura em pontos também limitados e por possuírem uma pequena massa a variação de temperatura ocorre em um intervalo de tempo pequeno, possibilitando uma resposta rápida nas medições. (BOSTON, 2005).

O termopar é um dos métodos de medição de temperatura de baixo custo, possui ampla aplicação e apesar da boa confiabilidade no que diz respeito aos dados, esse sensor possui uma faixa relativamente pequena de medição. (MATTEDE, 2021)

O termopar tipo K apresentado na figura 4, principalmente pelo seu baixo custo, é um dos mais populares e utilizados. Esse sensor de fácil acesso e manuseio chegam a cobrir temperaturas que variam entre  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com sensibilidade de aproximadamente  $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ .

Figura 4: Termopar tipo K utilizado para a coleta de dados



Fonte: Autor 2021

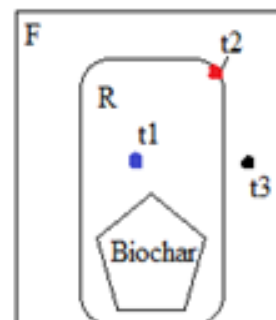
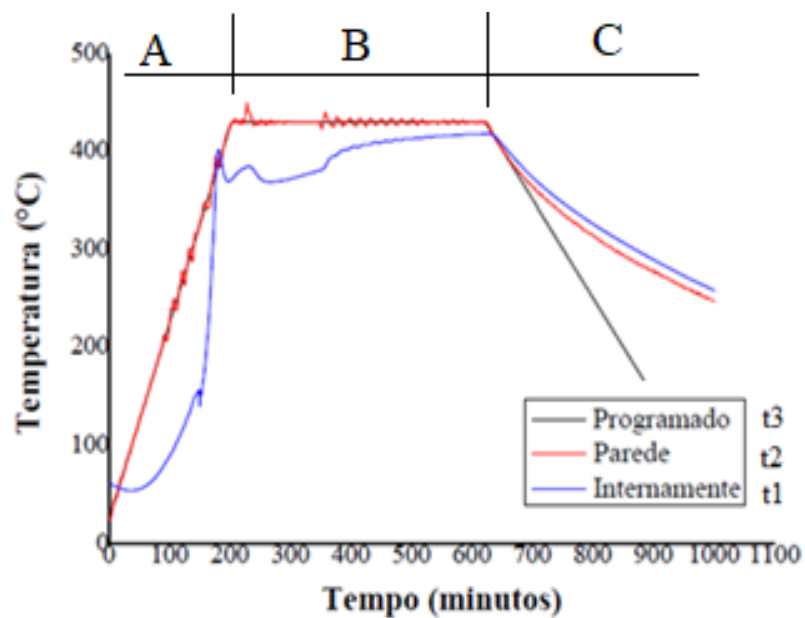
## 2.5. Eficiência Térmica de forno em campo

A eficiência térmica de um forno pode ser representada pela diferença entre o comportamento térmico externo ao volume de controle do forno e a temperatura interna. No caso de fornos com reator interno montados em campo, essa diferença pode ser medida a partir das variações entre a temperatura interna do reator ( $t_1$ ), a temperatura da parede externa do reator ( $t_2$ ) e a temperatura da parede externa do forno ( $t_3$ ). O déficit de eficiência térmica é evidenciado pelas variações nessas temperaturas e mostrado na figura 5, Rúbia (2017) mostra a pirólise de casca do fruto do baru (>40mesh), o estudo também relaciona a energia de ativação necessária a pirólise com a análise da variação das temperaturas no interior do reator.

As temperaturas  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  são representadas respectivamente por Internamente ( $t_1$ ), Parede do reator ( $t_2$ ) e Programado ( $t_3$ ).

Na análise gráfica percebe-se que existem 03 regiões distintas: A) Aquecimento, B) Temperatura de serviço e C) Resfriamento. O descolamento a temperatura menor nas regiões A e B da temperatura interna ( $t_1$ ) com relação a temperatura programada e de parede se deve a inércia térmica de transferência e o vale no trecho B, a reações endotérmicas no interior do reator, a presença desse vale é bem característica na obtenção de muitos tipos de biocarvões. Algumas figuras são apresentadas no Anexo B, mostrando curvas de variação de temperaturas da produção e biocarvão utilizando a casca do fruto de baru, casca da árvore de jatobá e o caroço de pequi. Nesses ensaios apresentados no anexo é observado um comportamento interno (dentro do reator) semelhantes, com uma curva acentuada na região A, uma certa estabilidade em B e então o processo de resfriamento em C, quando comparados com a Figura 5.

Figura 5: a) Variação de temperatura na pirólise de casca do fruto do baru (>40mesh); b) Representação das regiões A, B e C e pontos de medição de temperatura no forno.



Forno de pirólise com Reator

Fonte: Adaptado de RÚBIA (2017)

### 3. Materiais e Métodos

Nessa sessão será abordado os materiais utilizados e adquiridos, assim como os métodos utilizados para adaptações, coleta e tratamento dos dados obtidos.

#### 3.1. Local de estudo

O trabalho foi realizado na Fazenda experimental do IF Baiano *Campus* Valença- Bahia, na qual pesquisas com biocarvão vem sendo realizadas para aproveitamento dos resíduos agrícolas da região.

Os estudos de biocarvão no instituto são feitos em um forno artesanal de médio porte o qual serviu como modelo para os experimentos do presente trabalho, reutilizando alguns componentes como chaminé e reator, adaptando e incluindo outros, como a câmara de combustão (figura 8). A figura a seguir representa o forno original e sem modificações.

Figura 6: Forno original para produção de biocarvão



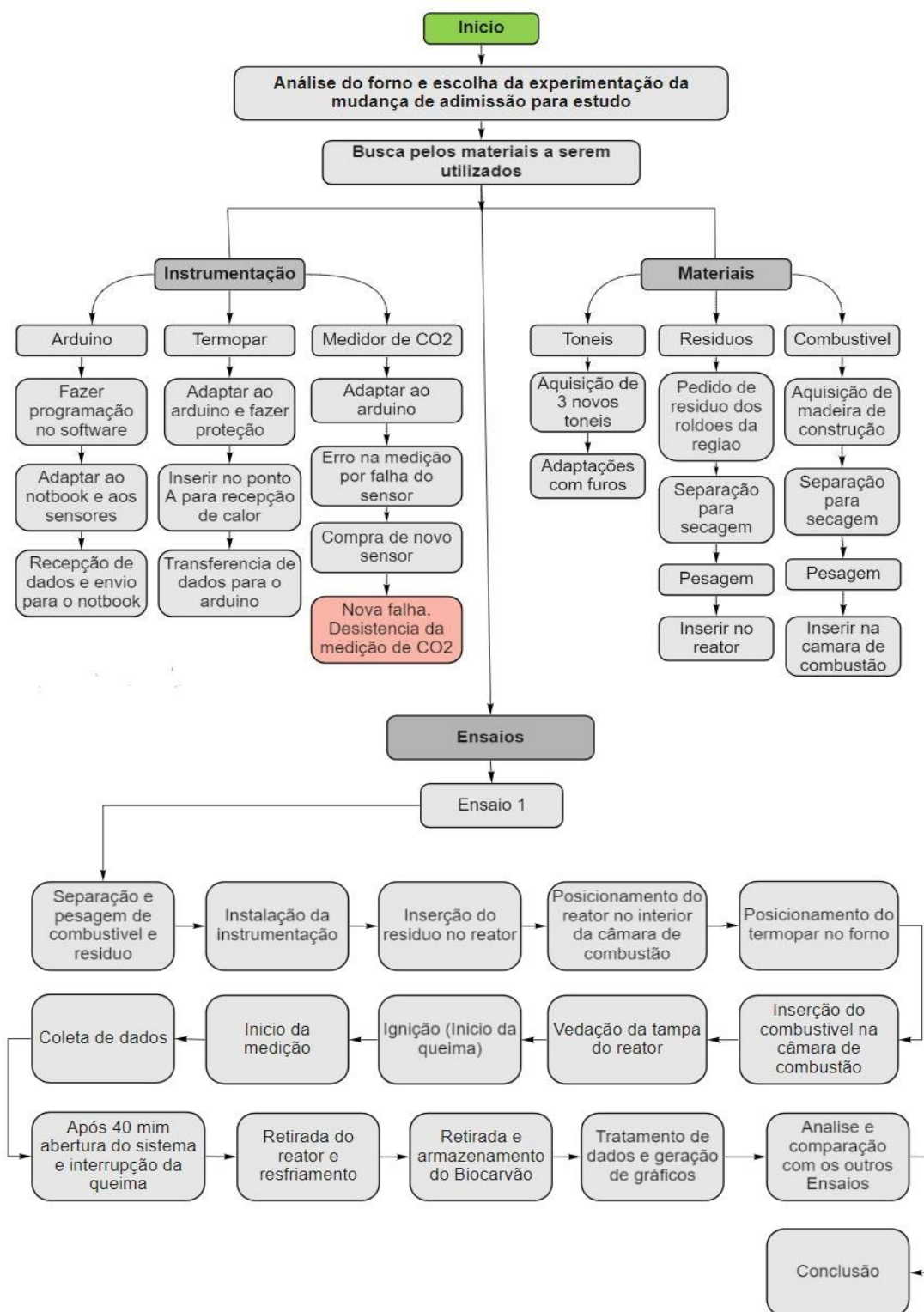
Fonte: Autor (2020)



### 3.2. Fluxograma da Metodologia

A metodologia do trabalho pode ser representada pelo fluxograma a seguir na Figura 7.

Figura 7: Fluxograma de trabalho

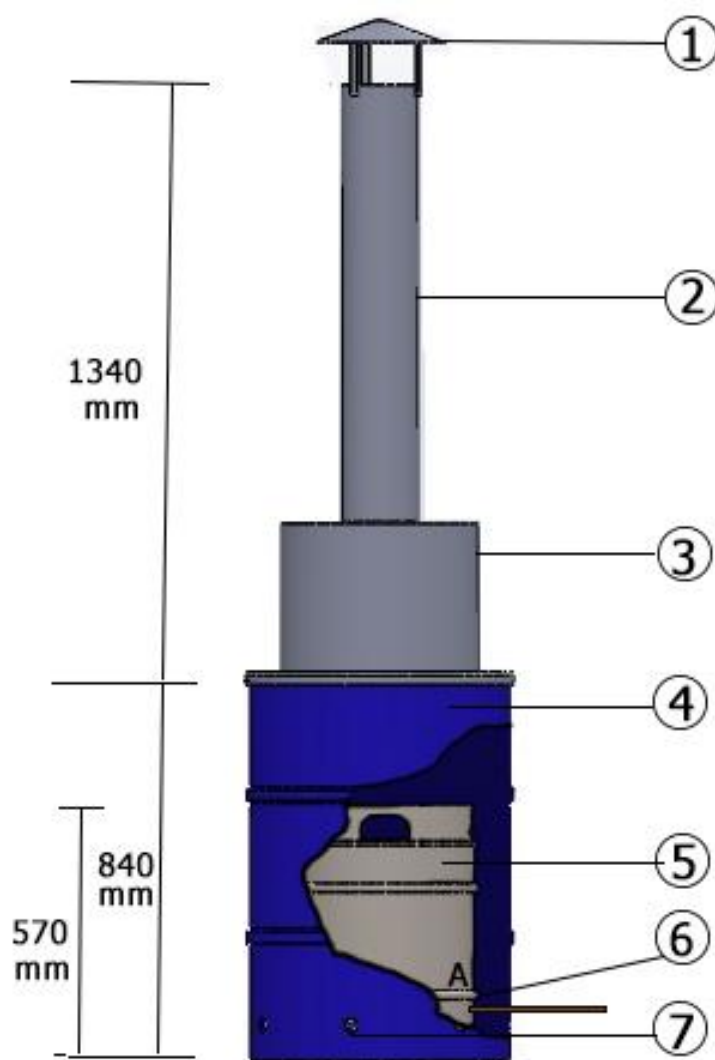


### 3.3. Materiais utilizados no projeto

O forno utilizado no trabalho é um forno artesanal de médio porte utilizado em experimentos de biocarvão no *Campus Valença* do IF Baiano.

Os materiais utilizados no projeto podem ser vistos no croqui da Figura 8 e listados em seguida.

Figura 8: Croqui do forno artesanal em estudo



Fonte: Autor (2021)

- 1- Anteparo contra acúmulo de líquido
- 2- Chaminé
- 3- Suporte/Tampa
- 4- Câmara de combustão
- 5- Reator
- 6- Ponto A) local onde o termopar é acoplado para medição da temperatura
- 7- Furos de admissão

### 3.3.1. Câmara de combustão

Para construção do forno foi necessário a aquisição de três novos tonéis de tamanho e capacidade de 200 litros, igual ao tonel do forno original (Figura 6), utilizados como câmara de combustão do forno. Esse é também o objeto de estudo em que foram feitas modificações para que cada configuração de forno fosse diferente.

Inicialmente cada novo tonel foi perfurado com 8 furos, localizados na parte inferior a uma altura de 80 milímetros em relação ao chão, e com 227,7 milímetros de distância do centro de um furo para o outro (Figura 10). Os furos foram feitos utilizando serra-copos, de tamanhos específicos para cada tonel, acoplados a uma furadeira de uso comum.

Os cilindros externos foram enumerados de acordo com o diâmetro de cada abertura. No primeiro tonel foram feitos oito furos com diâmetro de 20 milímetros, no segundo, oito furos com diâmetro de 30 milímetros, e no terceiro, oito furos de 40 milímetros de diâmetro como consta na figura 10. Na figura 9 são apresentadas imagens no processo de marcação e perfuração dos toneis.

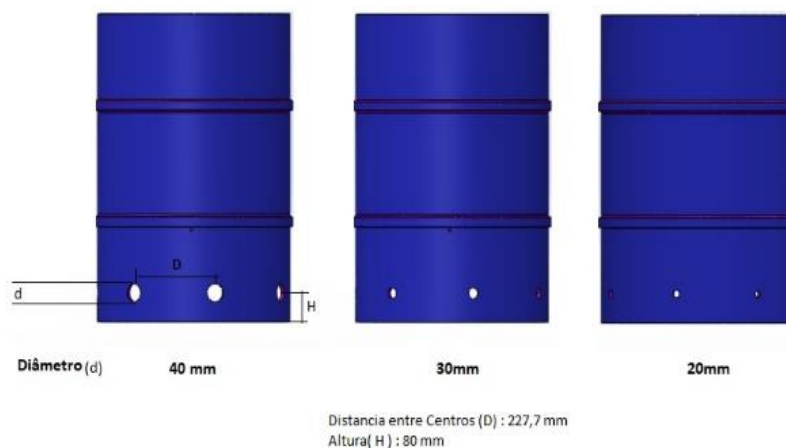
Figura 9: Adaptações em andamento nas novas câmaras de combustão.



Fonte: Autor (2021)

A seguir são representadas as adaptações feitas nos tonéis adquiridos com furos de 40, 30 e 20 mm, respectivamente.

Figura 10: Representação das câmaras de combustão (tonéis) utilizados no experimento.



Fonte: Autor (2021)

### 3.3.2. Reator

O reator é um recipiente fechado responsável por conter as transformações de um processo (geralmente químicas). A queima dos resíduos da produção de azeite de dendê (bucha) é feita de forma em que os resíduos são inseridos no reator para que ocorra o processo de pirólise. Para o reator do experimento foi utilizado um barril de inox com capacidade de 50 L adaptado com um tampo para facilitar a inserção do material. O mesmo reator já existente e em uso para a produção de biocarvão foi utilizado para o presente trabalho.

Figura 11: Reator aberto durante a inserção de resíduos

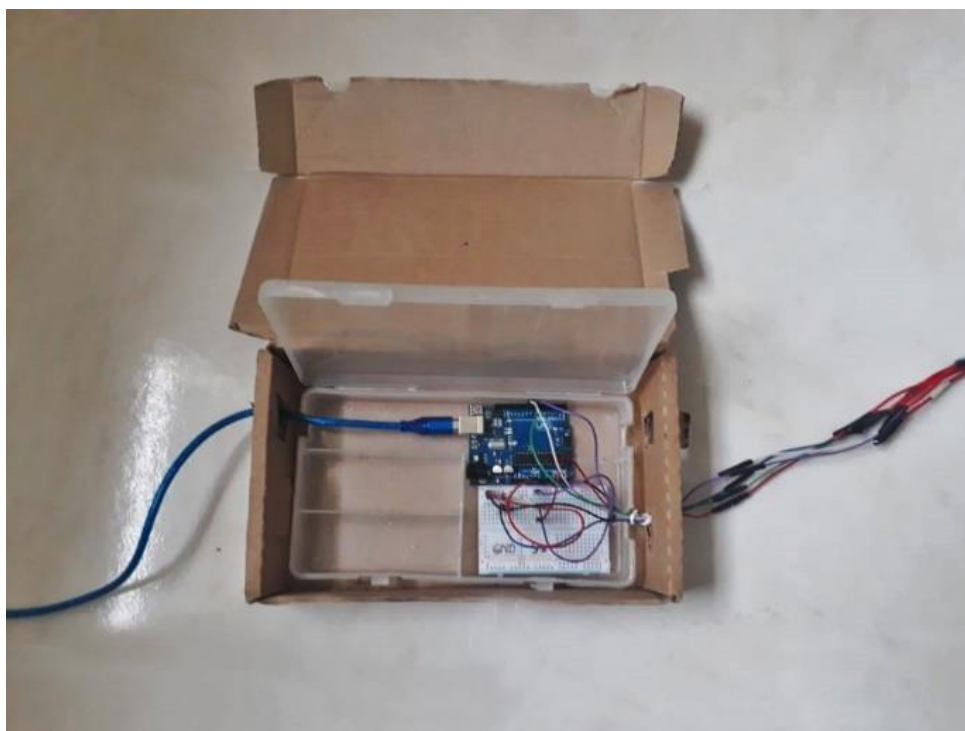


Fonte: Autor (2021)

### 3.3.3. Preparação e obtenção de dados

Para a etapa de avaliação da temperatura foi utilizado um sensor termopar tipo k MAX6675, um medidor de qualidade do ar (CCS811) e uma placa Arduino Uno acoplada em um notebook. Inicialmente fez-se a programação do código do sensor para leitura no Arduino (Anexo A). Em seguida foi feita a montagem do sistema com auxílio de um compartimento plástico (Figura 12). Alguns fios foram necessários para fazer uma extensão que liga a saída do Arduino até os sensores, essa distância se fez necessária devido as temperaturas elevadas ao redor do forno que poderiam prejudicar a placa Arduino e o notebook.

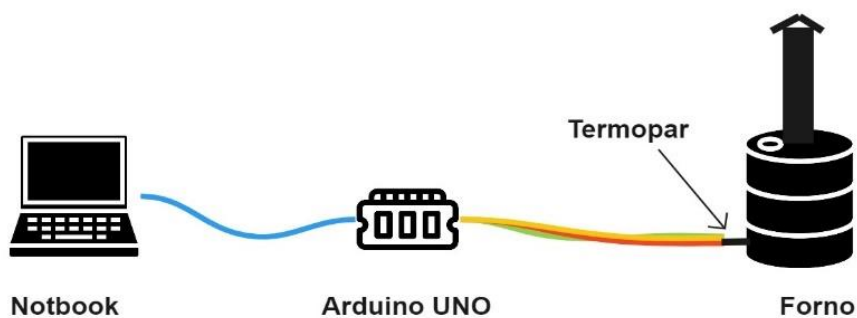
Figura 12: Montagem do Arduino com termopar



Fonte: Autor (2021)

Para obtenção dos dados de temperatura, o sensor foi inserido na parte interna do forno, especificamente no reator, onde foram acondicionados os resíduos de bucha de dendê seca. Como combustível foram utilizados madeira de demolição inseridos na câmara de combustão.

Figura 13: Ligação do sistema de medição e coleta de dados



micro

Fonte: Autor (2021)

A padronização do combustível e do resíduo de bucha de dendê se fez necessário para que pudesse haver uma comparação congruente após os três testes. Dessa forma ambos foram separados inicialmente por uma semana, para que houvesse a secagem do material e se tornassem o mais uniforme possível.

Foi padronizado 4 Kg de bucha de dendê para todos os ensaios. Esse peso foi escolhido por se tratar de uma quantidade que preenche o reator com resíduo de forma que seja aproveitada a maior quantidade possível para produção de biocarvão.

Para o combustível o padrão utilizado nos ensaios foi de 11Kg após alguns testes de posicionamento, sendo uma quantidade que possibilita uma queima constante e que se adequa ao espaço em questão (entre o reator e a parede da câmara de combustão).



Figura 14: Combustível (a) e Resíduos (b) sendo pesados momentos antes do ensaio 1.



Fonte: Autor (2021)

Ensaio preliminares foram realizados para determinar o tempo de queima, estabelecendo-se 40 minutos o tempo padrão a ser adotado em todos os experimentos.

Após a pesagem padrão, os resíduos foram inseridos no reator do sistema. Por se tratar de um processo de pirólise uma vedação foi feita na tampa do reator utilizando barro para garantir que não houvesse a entrada de oxigênio, como é possível observar na figura 15 (b). Essa prática já era utilizada anteriormente pelo Instituto para realização dos ensaios.

Figura 15: Preparação e inserção do resíduo no sistema.



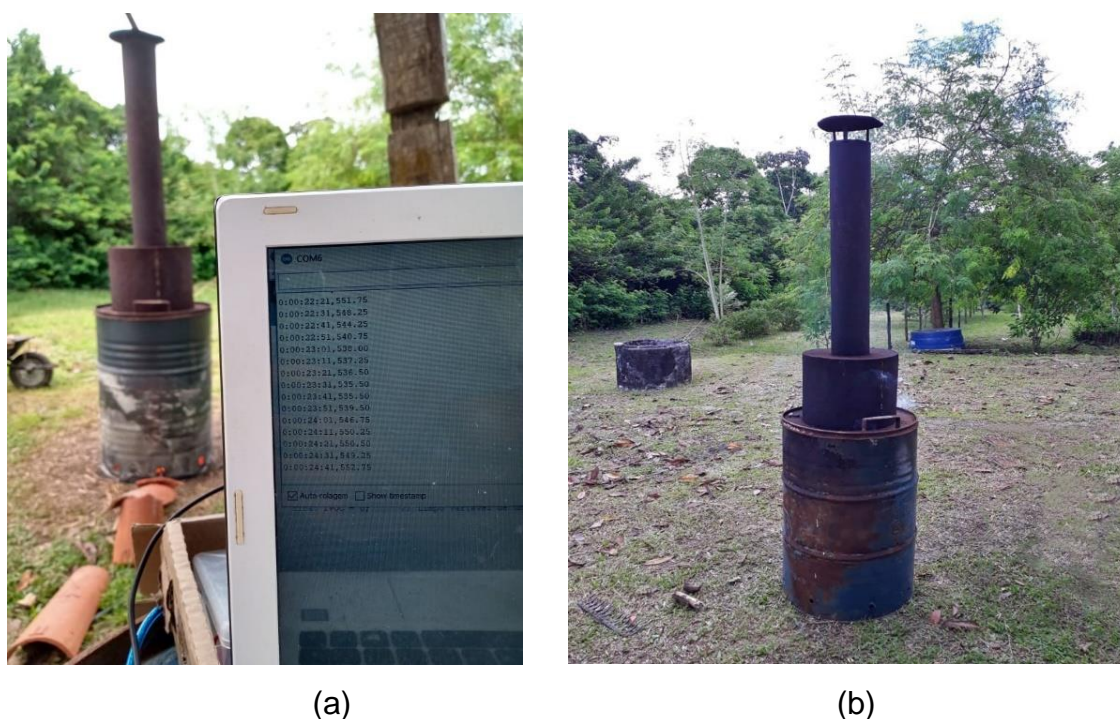
Fonte: Autor 2021

Após acoplar o sensor termopar ao Arduino, o sistema foi iniciado com a ignição da chama dentro do tonel. A tampa com a chaminé do forno só foi acoplada após o início do processo de queima. Assim, durante aproximadamente 5 minutos o sistema foi mantido aberto para garantir que a chama não se extinguiria, em seguida o sistema é fechado e o programa do Arduino acionado, iniciando a coleta de dados.

Nos primeiros ensaios o medidor de qualidade do ar apresentou problemas na medição, gerando dados incoerentes ou mesmo nulos, o defeito no sensor se mostrou permanente, sendo necessário a interrupção do experimento. Em um segundo momento foi adquirido outro sensor para a medição de CO<sub>2</sub>, porém o segundo sensor apresentou os mesmos problemas do medidor inicial. Dessa forma, a medição da qualidade de ar durante os ensaios foi descartada.

As medições de temperaturas para os testes de 20mm, 30mm e 40mm foram acompanhadas em tempo real pela tela do notebook (Acer) com visualização no programa Arduino (Figura 16, a), as informações eram recebidas a cada 10 segundos na tela, totalizando cerca de 240 medidas de temperaturas colhidas no intervalo de 40 minutos para cada ensaio.

Figura 16: Ensaio em andamento





Após o tempo adotado de queima com o sistema fechado, o processo foi interrompido, e a medição da temperatura encerrada, o termopar desacoplado do forno e os dados salvos no notebook.

Por último o biocarvão foi removido do barril e armazenado em recipiente fechado para análise posterior pelo IFBaiano. As etapas dos ensaios foram semelhantes, desde a pesagem dos materiais de entrada, montagem do sistema de medição e duração de queima.

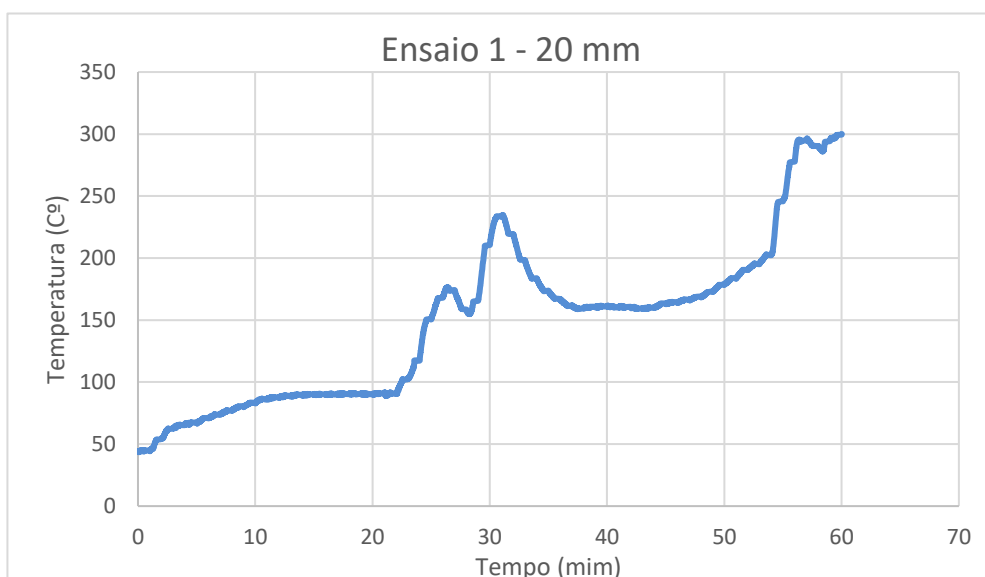
Os dados de temperatura obtidos no programa Arduino foram tratados no programa Excel, com elaboração de gráficos de temperatura no tempo. Cada ensaio gerou um gráfico com características próprias. No capítulo a seguir é apresentado um gráfico comparativo, com as três curvas geradas sobrepostas, onde é possível identificar semelhança no comportamento da temperatura, assim como, a partir da interpretação definir regiões importantes que levam a conclusões no presente trabalho.

## 4. Resultados e Discussões

O experimento foi realizado com três configurações diferentes, com diâmetros distintos para a entrada de ar em cada tonel de 20 mm, 30 mm e 40 mm, o equivalente a uma área aproximada total para entrada de ar de 25,12 cm<sup>2</sup>, 56,52 cm<sup>2</sup> e 100,48 cm<sup>2</sup>, respectivamente em cada tonel.

No ensaio com configuração de diâmetro de abertura dos furos de 20 mm, observou-se que não houve a produção adequada do biocarvão, ou seja, o produto se apresentou pouco homogêneo, com presença de resíduos inicialmente inseridos, além disso uma textura que não condiz com o esperado, quando comparado a resultados satisfatórios feitos anteriormente (Figura 17). Dessa forma, este ensaio foi repetido com tempo de queima prolongado para 60 minutos, a fim de obter um produto aceitável e a transformação do resíduo em biocarvão, no entanto, ainda assim não foram atingidos resultados esperados (Figura 20, c).

Figura 17: Gráfico Temperatura x Tempo – Ensaio do forno adaptado com aberturas de 20 mm de diâmetro.

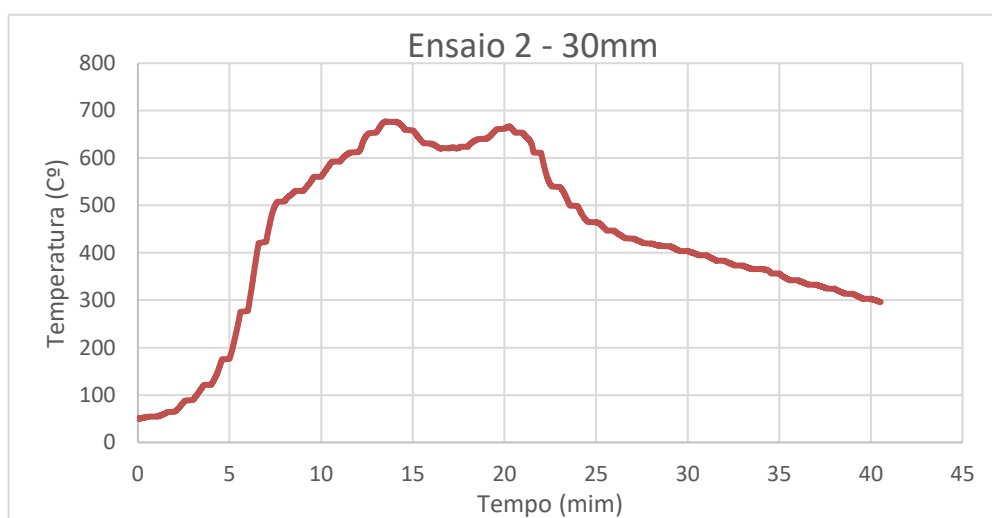


Fonte: Autor 2021

Para os ensaios de configuração de diâmetro de abertura dos furos de 30mm e 40 mm, o tempo padrão de 40 minutos foi adequado para atingir altas temperaturas de reação e realizar a pirólise, produzindo biocarvão aparentemente com qualidade.

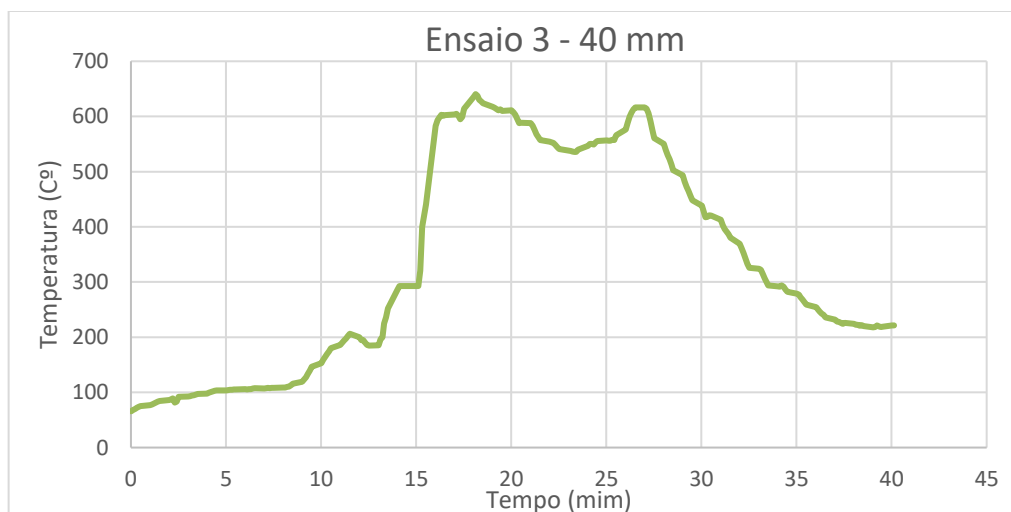
No entanto, observou-se que o forno adaptado com configuração de diâmetros de aberturas de 30 mm, atingiu altas temperaturas mais rapidamente e manteve essa temperatura elevada a maior parte do período, ficando cerca de 85% do tempo de queima acima de 300°C e com temperatura máxima atingida de 676°C (figura 18). Além disso, o biocarvão produzido apresentou uma boa qualidade visual e táctil, com um produto (figura 20, b).

Figura 18: Gráfico Temperatura x Tempo – Ensaio do forno adaptado com aberturas de 30 mm de diâmetro.



Fonte: Autor 2021

Figura 19: Gráfico Temperatura x Tempo – Ensaio do forno adaptado com aberturas de 40 mm de diâmetro.



Fonte: Autor 2021

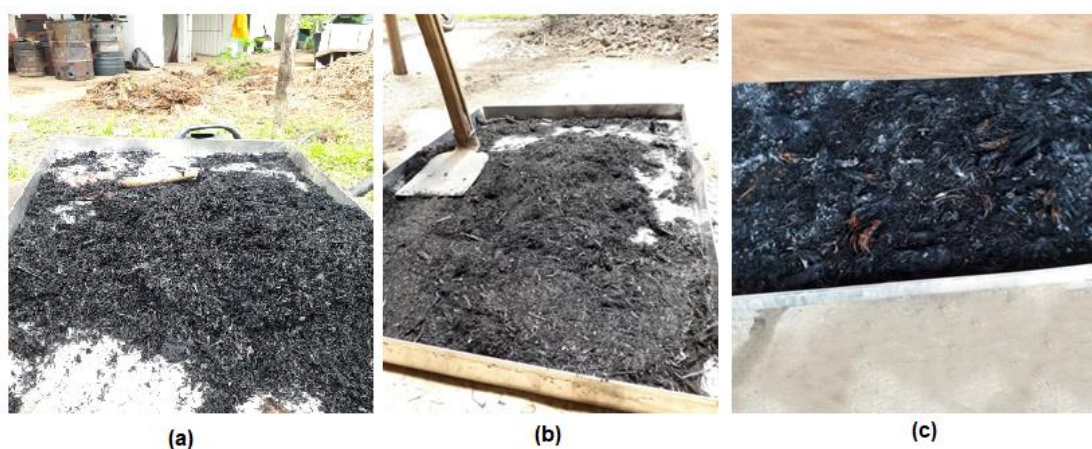
De acordo com Petter e Madari (2012), as características físicas e químicas do biocarvão, como a porosidade, área de superfície específica e cargas eletroquímicas estão intimamente relacionadas com a temperatura de carbonização e das concentrações de O<sub>2</sub>. Adicionalmente, alguns autores relacionam o pH do biocarvão à temperatura de pirólise, observando que quanto maior a temperatura mais alcalino o biocarvão produzido (SIEBENEICHLER, 1984), o que é importante quando se pensa no biocarvão como condicionador de solo.

A análise do gráfico apresentado na figura 21, mostra a variação de temperatura de cada forno no decorrer do tempo; O forno adaptado com furos de 20 mm apresentou o comportamento que menos se assemelha aos demais ensaios, tornando-se inviável para a produção de biocarvão. Sua temperatura de pico foi equivalente à aproximadamente metade da temperatura máxima do forno adaptado de 40 mm e abaixo de 300° C.

No que diz respeito ao biocarvão gerado em cada configuração, o forno com a configuração de abertura de diâmetro de 20 mm gerou um produto insatisfatório, apresentando a bucha de dendê nos três estágios, sendo eles: a bucha com queima incompleta, uma parte biocarvão e outra parte um produto queimado além do desejado. Este resultado foi reforçado com a repetição do ensaio obtendo um produto semelhante.

Já os fornos com a configuração de abertura de diâmetro de 30 mm e 40 mm apresentaram um resultado com boa qualidade. A qualidade analisada no presente experimento, diz respeito a homogeneidade do produto final, assim como seu aspecto comparado a testes feitos anteriormente e dados como de qualidade pelo IFBaiano.

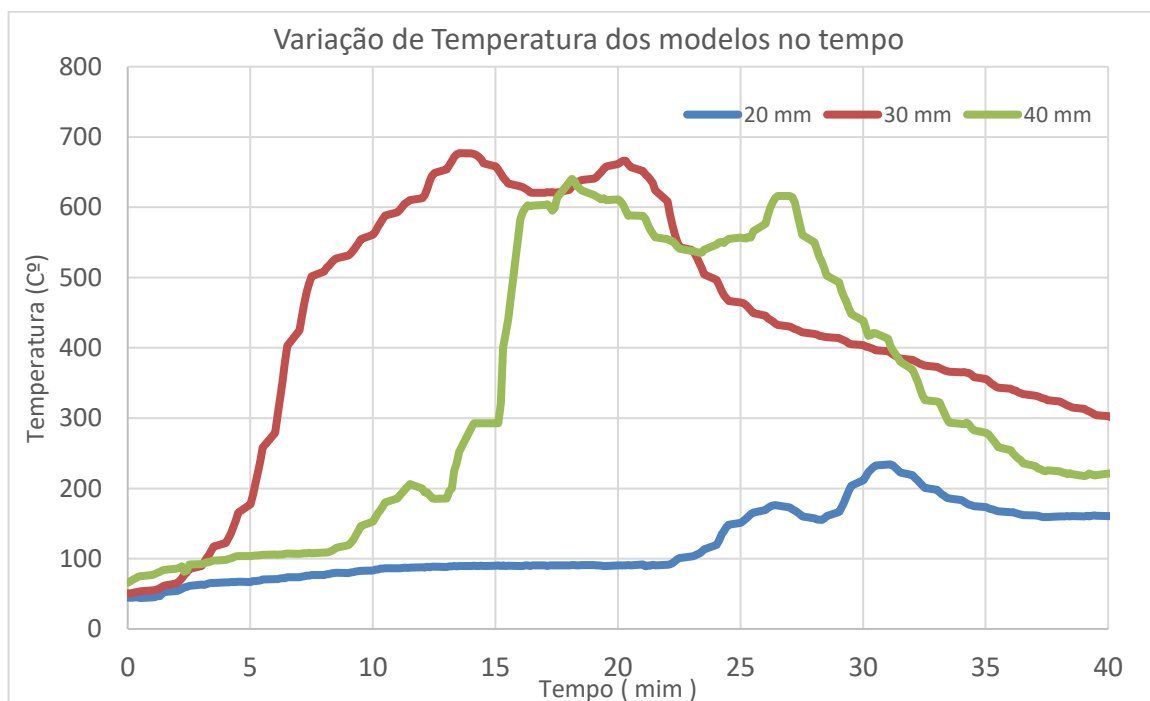
Figura 20: Biocarvão gerado nos ensaios (a) 40mm (b) 30mm (c) 20mm



Fonte: Autor (2021)

Na figura 21, são apresentados os dados sobrepostos de temperatura no tempo obtidos nos ensaios de cada uma das adaptações.

Figura 21: Dados de temperatura de pirólise para as três configurações avaliadas



Fonte: Autor 2021

Para os fornos adaptados com 30 mm e 40 mm foi medido os resultados finais relacionados ao peso de combustível e do produto (biocarvão) como podemos observar na tabela abaixo.

Tabela 2: Pesos de entrada e saída do sistema

Adaptação	Resíduo		Combustível		Rendimento (%)
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Biocarvão
30 mm	4,0 Kg	1,1 Kg	11,0 Kg	4,5 Kg	27,5
40 mm	4,0 Kg	1,2 Kg	11,0 Kg	5,1 Kg	30,0

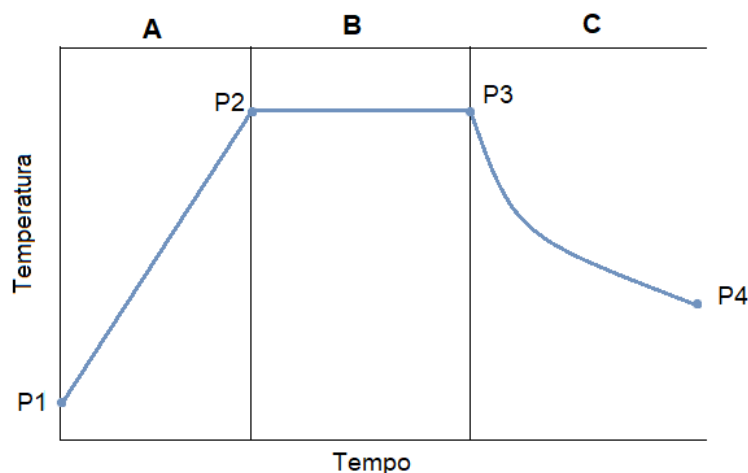
Fonte: Autor 2021

Segundo Schena (2019) os produtos gerados do processo de pirólise são na forma sólida, líquida e gasosa, sendo quanto maior a temperatura e/ou tempo de queima associados maiores as porcentagens de líquido e gasoso, os resultados obtidos refletem esses dados. O forno adaptado com entradas de 30 mm atingiu temperaturas mais altas e permaneceu em temperaturas acima de 300°C por mais tempo quando comparado ao forno com aberturas de 40mm resultando em menos produto na forma sólida como observado na tabela 2. Esse dado também é validado observando a tabela 1, onde segundo Trazzi (2018) o biocarvão na pirólise lenta com temperaturas de 200-750 °C tem rendimento de cerca de 35%. Nos ensaios com aberturas adaptadas com 30mm e 40mm os rendimentos obtidos foram de 27,5% e 30% respectivamente.

#### 4.1. Análise Gráfica

Nessa seção será tratado a análise dos resultados de forma mais detalhada através dos gráficos, identificando suas regiões e comportamentos de temperatura. Para tanto cada gráfico foi dividido em 3 áreas, sendo elas: A, B e C, como apresentado na figura 22.

Figura 22: Regiões de estudo e pontos de referência



Fonte: Autor 2021

Onde, **A** representa área de aquecimento, sendo P1 a temperatura inicial do ensaio e P2 a temperatura máxima atingida. **B** sendo a região de trabalho, considerando P3 igual a P2, e **C** a área de resfriamento, com a curva exponencial de maior  $R^2$ , iniciada em P3 (temperatura máxima) até P4 (temperatura final do ensaio).

O comportamento de aquecimento e resfriamento representados pelas regiões A e C, considera regime de perda mínima possível dos fornos e representa rendimento máximo alcançado.

Aplicando as considerações, obtemos as figuras do apêndice A, figuras 1, 2 e 3, com dados resumidos nas tabelas a seguir.

Tabela 3: Resultados da análise do gráfico de temperatura no tempo do forno adaptado com aberturas de 20 mm.

20 mm	P1	P2	P3	P4
t (min)	0,01	26,42	31,12	40,13
T (°C)	44,25	234,25	234,25	161
Função	$T = 7,19.t + 44,17$		$Y = 1,539x^2 - 117,01x + 2382,6$ $R^2=0,9914$	

Fonte: Autor 2021

Tabela 4: Resultados da análise do gráfico de temperatura no tempo do forno adaptado com aberturas de 30 mm.

<b>30 mm</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>t (min)</b>	0,01	10,41	21,22	40,13
<b>T (°C)</b>	50,75	677	677	304
<b>Função</b>	$T = 60,21.t + 50,14$		$Y = - 0,0881x^3 + 8,728x^2 - 295,18x + 3773,7$ $R^2=0,9884$	

Fonte: Autor 2021

Tabela 5: Resultados da análise do gráfico de temperatura no tempo do forno adaptado com aberturas de 40 mm.

<b>40 mm</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b>t (min)</b>	0,01	17,12	27,22	40,13
<b>T (°C)</b>	65,75	640,5	640,5	221,25
<b>Função</b>	$T = 33,59.t + 65,41$		$Y = 2,4019x^2 - 190,29x + 3987,3$ $R^2=0,9962$	

Fonte: Autor 2021

Os resultados sugerem que o aumento da área de admissão de ar pode gerar queima pobre e propiciar menores patamares de temperatura (ver gráfico de 40 mm anexo B, figura 3).

Os dados gerados e apresentados no Apêndice A, demonstram as curvas mínimas de temperatura na parede do reator, estando bem próximos as temperaturas medidas no seu interior. Com isso, é possível utilizar as informações para futuros testes, sendo viável replicar as condições de temperatura dos ensaios feitos no presente trabalho em fornos de temperatura controlada.

As curvas geradas a partir das funções presentes nas tabelas 3, 4 e 5 apresentadas no Apêndice A, representam essa temperatura mínima, e se encontram sempre com valores de temperatura acima da curva dos ensaios por se tratarem da região de origem do calor (Câmara de combustão).



## 5. Conclusões

Considerando que a utilização do biocarvão de resíduos agrícolas é uma alternativa viável para a redução do passivo ambiental ocasionado pela deposição indevida dos resíduos da agricultura e que o uso de biocarvão também proporciona a redução de custos de produção pelo menor uso de fertilizantes químicos, observa-se que a busca por uma tecnologia de baixo custo para a produção de biocarvão para sua utilização em solo, pode tornar a atividade agrícola mais viável aos produtores e viabilizar o uso em produção orgânica e agroecológica.

Considerando ainda que a comunidade do Baixo Sul da Bahia tem uma elevada produção voltada para o azeite de dendê e o descarte dos resíduos pode ser melhor aproveitado pelos agricultores locais, o acesso a uma tecnologia de baixo custo capaz de gerar biocarvão se torna uma importante alternativa.

Através das adaptações realizadas no forno para produção de biocarvão utilizando resíduos da produção de azeite dendê, foi possível produzir gráficos que relacionam a temperatura com o tempo de queima. Dessa forma, observou-se que há uma influência importante no diâmetro das entradas de ar no forno para que o mesmo atinja uma temperatura adequada na produção de biocarvão.

Durante os estudos foi possível observar que o forno adaptado com furos de admissão de 20 mm não apresentou resultados adequados no tempo de queima pré-estabelecido (40 minutos). Aumentando o tempo desse ensaio para 60 minutos ainda foi constatado uma má produção de biocarvão, tornando essa configuração inapropriada para uso.

Ao observar os resultados do forno adaptado com furos de admissão de ar com 30 mm de diâmetro, conclui-se que essa configuração apresentou uma maior eficiência de queima, alcançando temperaturas mais elevadas em relação aos demais ensaios em um menor espaço de tempo, chegando a uma temperatura máxima atingida de 677°C e permanecendo cerca de 85% do tempo da queima em temperaturas acima de 300°C.

O forno adaptado com 40 mm de diâmetro, apresentou melhor rendimento quando observado a quantidade produzida de matéria sólida proveniente da pirólise (biocarvão), chegando a cerca de 30% de rendimento como observado na tabela 2, e apresentou uma produção de biocarvão com qualidade visual e táctil, assim como o forno adaptado com diâmetro de 30 mm. Dessa forma foi possível os fornos adaptados de 30 mm e 40 mm estão aptos para gerar biocarvão com as configurações determinadas nos ensaios.

Conclui-se que a adaptação do forno com 8 furos com 40mm de diâmetro equivalente a 100,48 cm<sup>2</sup> de área de admissão apresentou maior formação de biocarvão abrindo caminho para padronização e controle da técnica de admissão do forno que não existia até o presente trabalho.

## 6. Sugestões de trabalhos futuros

- Avaliar a utilização de outros combustíveis para o biocarvão
- Adaptar um condensador para diminuir a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera
- Avaliar a abertura ótima para queima (entre 30 e 40mm)
- Fazer o controle da temperatura com serpentina
- Aproveitamento do calor da chaminé para outro fim, como aquecimento de água
- Medição da concentração de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> com vista ao acompanhamento da estequiometria da reação para melhoria do rendimento
- Mapear as regiões onde o forno pode ser utilizado por comunidades
- Avaliar uso de válvula borboleta para controle da entrada de ar na admissão com vistas a melhoria de desempenho.
- Fazer análise termo econômica para avaliar os custos com combustível e a biomassa gerada
- Análise dos ensaio de caracterização ( Umidade, teor de cinza, teor de carbono)

## 7. Referências Bibliográficas

AL-WABEL, M. I.; AL-OMRAN, A.; EL-NAGGAR, A. H.; NADEEM, M.; USMAN, A. R. A. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. **Bioresource Technology**, v. 131, p. 374–379, 2013.

Amonette, F. E.; JOSEPH, S. Characteristic of biochar: Microchemical properties. In: Lehmann, J.; Joseph, S. *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*, London: Earthscan, 2009.

Antal, M. J.; Gronli, M. The art, science, and technology of charcoal production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v.42, p.1619-1640, 2003.

BOSTON, W. *Engineering Instrumentations and Control*. Pg 13, 17,27, 141, Ed. Hemus,2009.

BROWN, R. Biochar production technology. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). *Biochar for environmental management: science and technology*. London: Earthscan, 2009. p. 127-148. BROWNSORT, P. A. Biomass pyrolysis processes: review of scope, control and variability. United Kingdom Biochar Research Centre, London, v. 1, p. 1-39,2009.

CARVALHO, W. S., Pirólise rápida do bagaço de sorgo sacarino: Influência da temperatura, de aditivos e de catalisadores. Universidade Federal de Uberlândia, MG, 2016.

CHUI, D SANTANA., Identificação de chama de forno industrial através do monitoramento por visão computacional. Universidade de São Paulo, SP,2020

DA SILVA, I. L., Parâmetros físico-hídricos do solo, Lixiviação de nutrientes e desenvolvimento do girassol (*Helianthus annuus* L) em argissolo amarelo tratado com biocarvão, Universidade Federal de Sergipe, Fev., 2016.

FURUKAWA, C. M.; BARROS, R. DE.; *Sensores: Tecnologias e Aplicações*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia Mecatrônica. PMR 2727. Professor: Celso Massatoshi Furukawa

GONZAGA, M. I. S. et al. Eficiência de absorção de nitrogênio e fósforo em mostarda indiana cultivada por três ciclos sucessivos em um solo contaminado com cobre e tratado com biocarvão. **Cienc. Rural** [online]. V..49, n.1, 2019.

GREELANE, A Evolução interessante do forno moderno., *HistóriaeCultura*, 2018. Disponível em: <<https://www.greelane.com/pt/humanidades/hist%c3%b3ria--cultura/history-of-the-oven-from-cast-iron-to-electric-1992212/>> . Acesso em: 19, setembro de 2021.

J. MOLLINEDO, T. E. SCHUMACHER, R. CHINTALA, *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 2015, 114, 100– 108.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v.11, p.403-427, 2006.

MALVA, P., Arqueólogos encontram raros fornos de cerâmica de 6 mil anos na china. *Aventurasnahistoria*, 2020. Disponível em: <<https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/historia-hoje/arqueologos-encontram-raros-fornos-de-ceramica-de-6-mil-anos-na-china.phtml>>. Acesso em 20 de setembro de 2021.

MACEDO, L. A. (2012). Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM - 189/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF,49p.

MATTEDE, H., O que é um termopar? *Mundo da elétrica*, 2021. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-termopar/>> Acesso em: 18, setembro de 2021

MCCARL, B. A. et al. Economics of biochar production, utilization and gas offsets. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed). Biochar for Environmental Management: science and Technology. London: Earthscan,. p. 341-356, 2009.

MOREIRA, L. Medição de Temperatura Usando-se Termopar. Cerâmica Industrial, 7 (5) Setembro/Outubro, 2002 53.

MOURAD, A.L.; AMBROGI, V.S.; GUERRA, S.M.G. Potencial de utilização energética de biomassa residual de grãos. In: Encontro de energia rural, 2004.

NOVAIS JÚNIOR, R. R; PIRES, M. DE M; GOMES, A. DA SILVA. SÃO JOSÉ, A. R. Caracterização da estrutura produtiva do dendê. Valença, Bahia, Brasil. **XXVII Congresso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires.** Asociamción Latinoamericana de Sociología, Buenos Aires. 2009.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E. . Biochar: agronomic and environmental potential in Brazilian Cerrado soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso)**, v. 16, p. 761-768, 2012.

REZENDE EIP, ANGELO LC, DOS SANTOS SS, MANGRICH AS. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Virtual Química.**; n.3, p. 426-433, 2011.

RODRIGUES, P.H.C.. A inclusão do azeite de dendê em alimentos no controle da hipovitaminose A. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública., São Paulo, 2009.

RÚBIA, M. S. M. INVESTIGAÇÃO DA PIRÓLISE DE BIOMASSAS DO CERRADO PARA APLICAÇÃO À SISTEMAS DE GASEIFICAÇÃO ESTAGIADA. **UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, FACULDADE DE TECNOLOGIA.** 2017

SIEBENEICHLER, E.A. Características químicas e físicas de carvão de eucalipto (Eucalyptus cloeziana). Universidade Federal de Viçosa, MG, 1987.

SCHENA, TIAGO. Aproveitamento dos Resíduos de coco através da Pirólise: Uma abordagem Analítica e Econômica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2019

SHAFIZADEEH, F. Introduction to pyrolysis of biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v.3, p.283-305, 1982.

SOHI, S. P. et al. Biochar, climate change and soil: a review to guide future research. Canberra: CSIRO Land and Water Science Report, 2009. 64 p.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S. ; HIGA, R. C. V. Biocarvão: Realidade e Potencial de Uso No Meio Florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 875-887, abr.- jun., 2018.

TROMPOWSKY, P. M.; BENITES, V. M.; MADARI, B. E.; PIMENTA, A. S.; HOCKADAY, W. C., Hatcher, P.G. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 36, n. 11, p. 1480-1489, 2005.

VERHEIJEN, F. G. A. et al. Biochar application to soils: a critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxembourg: EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, 2009. 149 p

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, v.86, p.1781- 1788, 2007.

ZIMMER, Y. Competitiveness of rapeseed, soybeans and palm oil. **Journal of Oilseed Brassica**, v.1, n.2, p.84- 90. 2010

## 8. ANEXOS

### ANEXO A - Código utilizado no programa Arduino.

```
// SDCard
#include <SPI.h>      // Biblioteca de comunicação SPI Nativa
#include <SD.h>      // Biblioteca de comunicação com cartão SD Nativa
const int chipSelect = 10; // Constante que indica em qual pino está conectado o Chip Select do módulo
de comunicação
File dataFile;      // Objeto responsável por escrever/Ler do cartão SD
bool cartaoOk = true;

long day = 86400000; // 86400000 milliseconds in a day
long hour = 3600000; // 3600000 milliseconds in an hour
long minute = 60000; // 60000 milliseconds in a minute
long second = 1000; // 1000 milliseconds in a second

// MAX6675- Temperatura
#include <max6675.h> //Inclusão de biblioteca
int ktcSO = 7; //PINO DIGITAL (SO)
int ktcCS = 8; //PINO DIGITAL (CS)
int ktcCLK = 9; //PINO DIGITAL (CLK / SCK)
MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO); //CRIA INSTÂNCIA UTILIZANDO OS PINOS (CLK, CS, SO)

void setup()
{

Serial.begin(9600); // Define BaundRate
Serial.println("Projeto Forno ( Medição de Temperatura )");
Serial.println("Time, Temperatura(*C)");

delay(1000); //INTERVALO DE 500 MILISSEGUNDOS
}

void loop()
{
time(); //Funcao tempo

//Limpando Variáveis
String leitura = ""; // Limpo campo contendo string que será armazenada em arquivo CSV
float temperatura = 0 ; // Limpo variável de temperatura a cada nova leitura
```



```

// MAX6675- Temperatura
temperatura=ktc.readCelsius();
Serial.println(temperatura); //imprime temperatura medida

delay(1000);
}
void time()
{

long timeNow = millis();
int days = timeNow / day ;                //number of days
int hours = (timeNow % day) / hour;        //the remainder from days division (in milliseconds)
divided by hours, this gives the full hours
int minutes = ((timeNow % day) % hour) / minute ;    //and so on...
int seconds = (((timeNow % day) % hour) % minute) / second;

// digital clock display of current time
Serial.print(days,DEC);
printDigits(hours);
printDigits(minutes);
printDigits(seconds);
Serial.print(",");
}

void printDigits(byte digits)
{
// utility function for digital clock display: prints colon and leading 0
Serial.print(":");
if(digits < 10)
    Serial.print('0');
Serial.print(digits,DEC);
}

```

## Anexo B

Fonte: Rubia (2017)

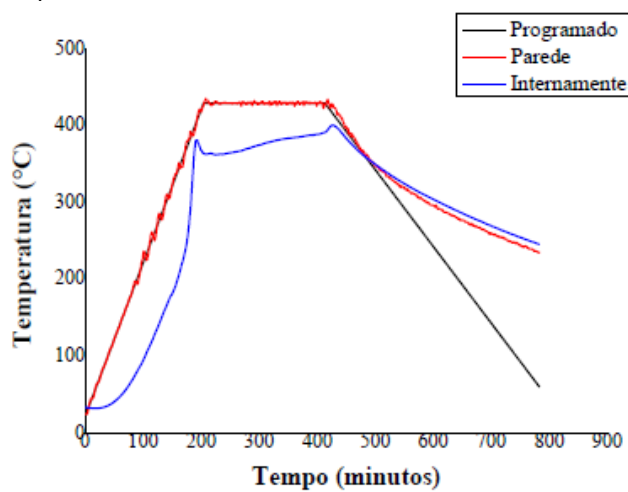


Figura – Ensaio 2 utilizando a casca do fruto do baru (>40mesh).

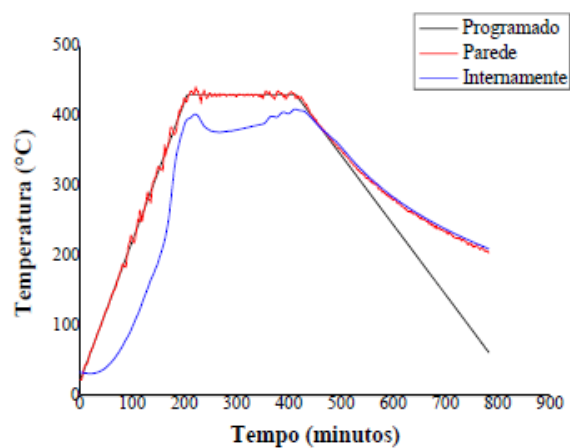


Figura – Ensaio 2 utilizando a casca da árvore de jatobá (>40mesh).

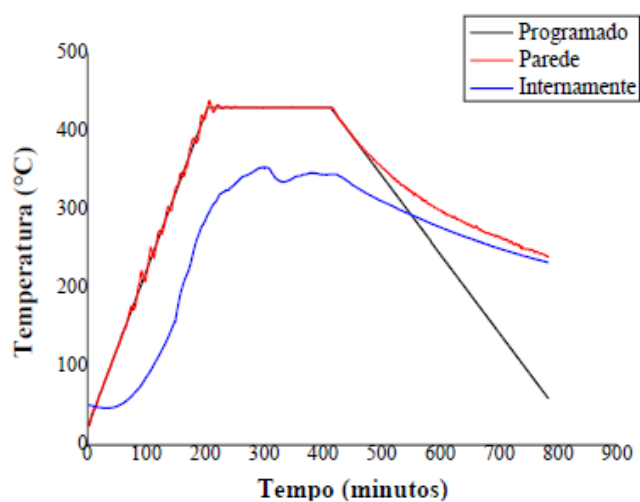
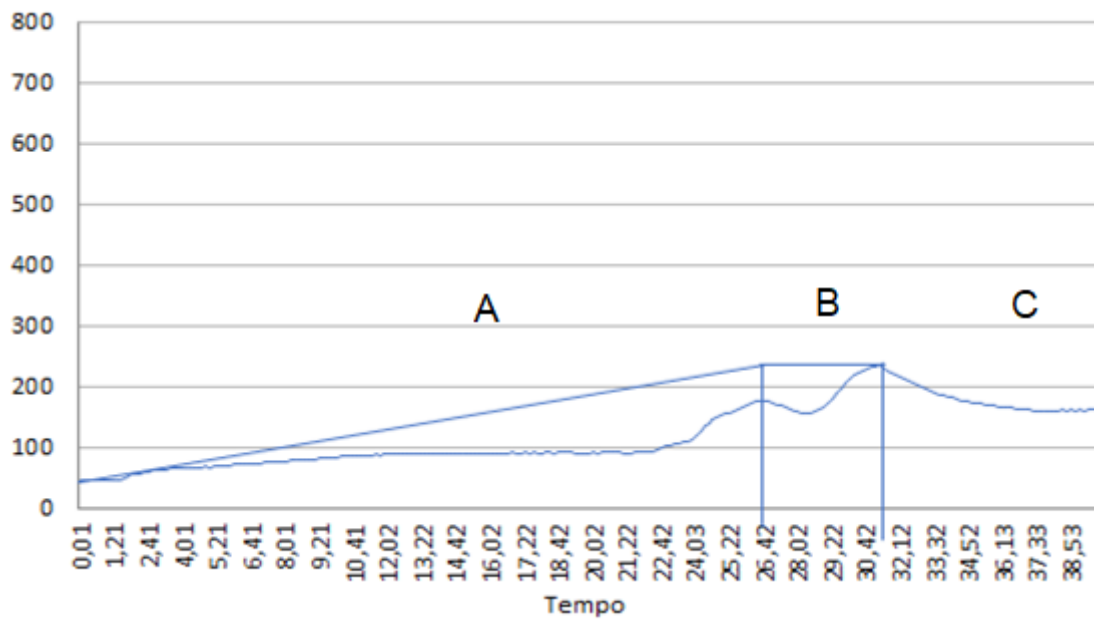


Figura – Ensaio 2 utilizando o caroço de pequi (>40mesh).

## 9. APÊNDICE A

Figura 1: Forno adaptado com entrada de 20mm

(a)



(b)

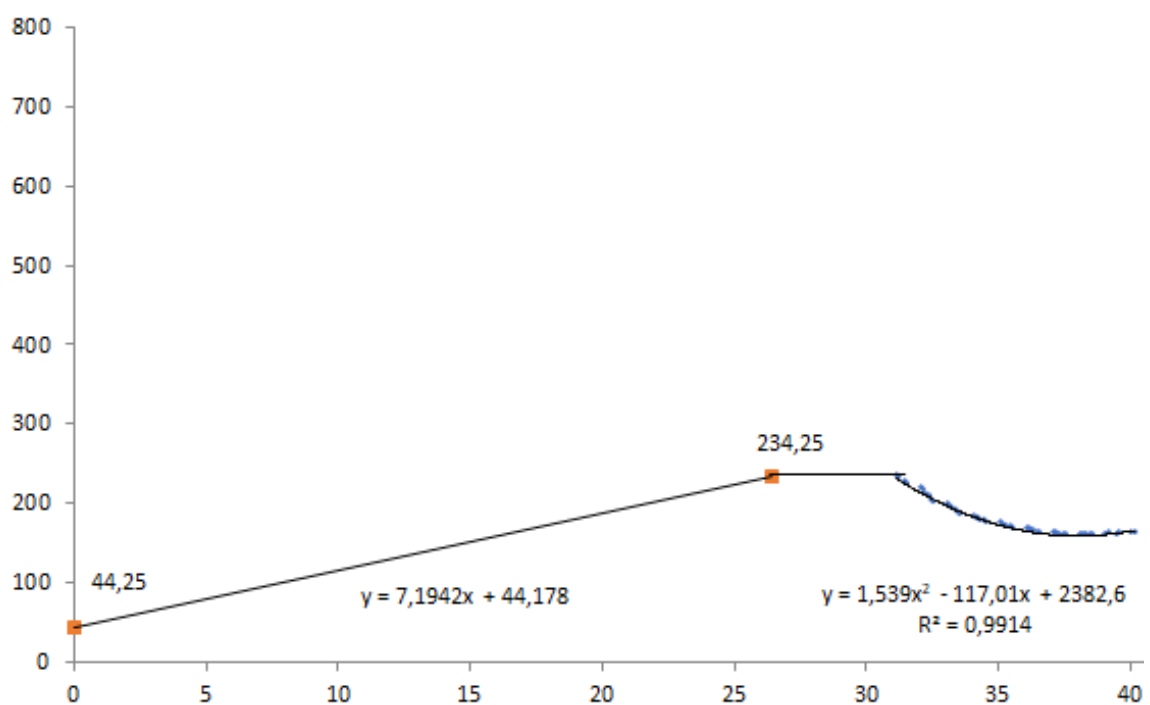
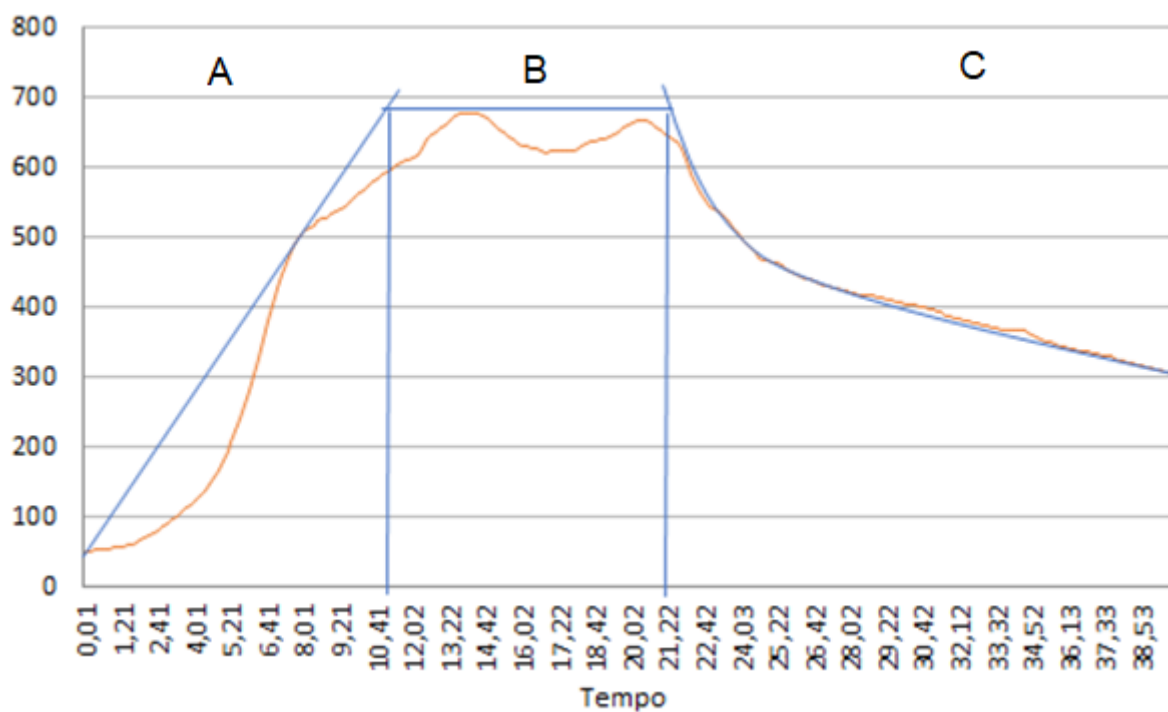


Figura 2: Forno adaptado com entrada de 30mm

(a)



(b)

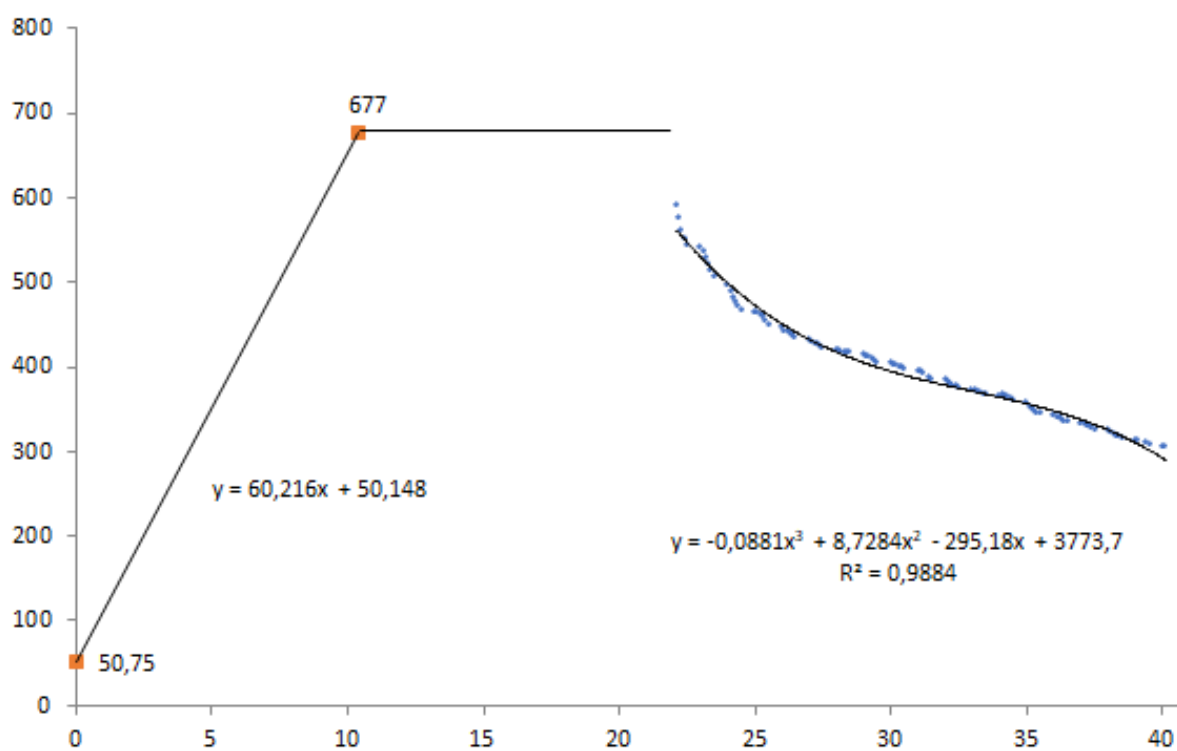
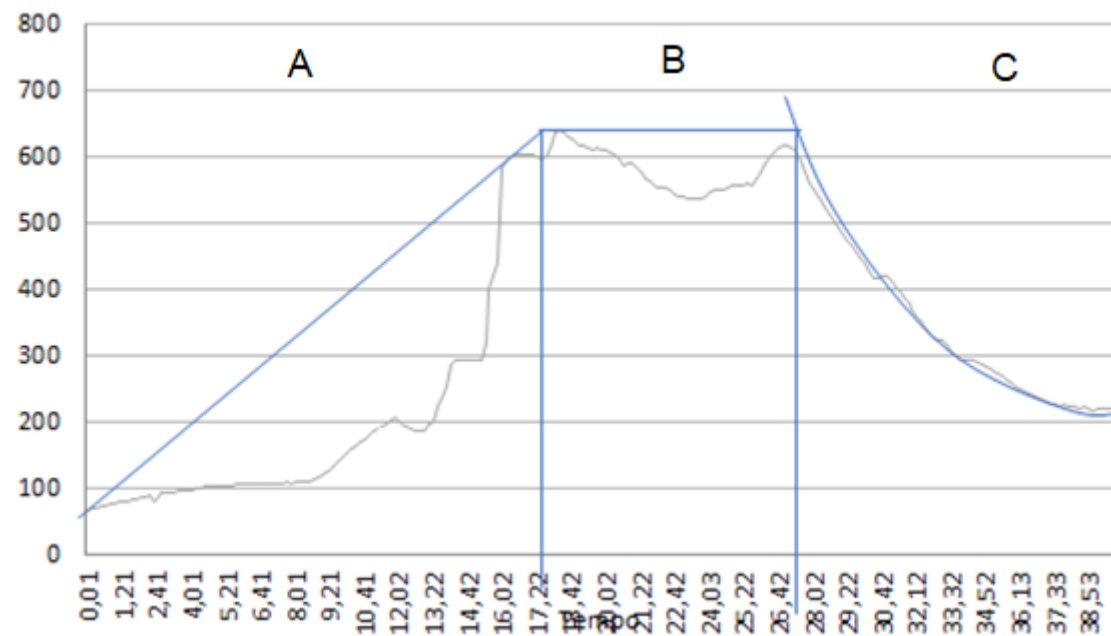


Figura 3: Forno adaptado com entrada de 40mm

(a)



(b)

