

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
TÉCNICO EM QUÍMICA**

**ESTUDO E ELABORAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DE
UMA CALDEIRA ARTESANAL PARA O AUXÍLIO DO PEQUENO
AGRICULTOR**

**Orientador Prof.^a Dra. GISLAINE AP. BARANA DELBIANCO
Coorientador Prof. Dr. SERGIO DELBIANCO FILHO**

**ANDREWS HENRIQUE AUGUSTO
ANTHONY PAULO DE OLIVEIRA ROCHA
CHRISTIAN RANIERI PEREIRA DIAS**

**LIMEIRA - SP
2021**

**ANDREWS HENRIQUE AUGUSTO
ANTHONY PAULO DE OLIVEIRA ROCHA
CHRISTIAN RANIERI PEREIRA DIAS**

**ESTUDO E ELABORAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DE
UMA CALDEIRA ARTESANAL PARA O AUXÍLIO DO PEQUENO
AGRICULTOR**

**Projeto apresentado no
Ensino Técnico Integrado ao Médio de
Química da ETEC Trajano Carmargo
Orientadora: Prof.^a Dra. GISLAINE AP. BARANA DELBIANCO
Coorientador: Prof.^a SERGIO DELBIANCO FILHO**

**LIMEIRA – SP
2021**

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos dado condições e saúde para realização do trabalho.

Agradecemos às nossas famílias por ter nos dado todo apoio e segurança para realização do trabalho.

Agradecemos ao senhor Antonio Silveira da Rocha pelo apoio e soldagem da caldeira, mesmo com suas atividades, e ao senhor Matheus Katz por nos fornecer os materiais necessários para a construção da caldeira.

Agradecemos ao professor Dr. Sergio Delbianco Filho pelo apoio e pela orientação, mesmo em tempos de pandemia. Agradecemos à professora Dra. Gislaine Ap. B. Delbianco pela orientação e incentivo durante o trabalho.

Agradecemos à ETEC Trajano Camargo pelo apoio e disponibilidade de espaço e de materiais para a realização do projeto, mesmo com o ensino à distância.

RESUMO:

Observa-se nos atuais paradigmas socioeconômicos nacionais e internacionais diversas questões e preocupações que vêm sendo cada vez mais alavancadas com o passar dos anos. E, sem sombras de dúvidas, uma dessas questões que mais vem sendo posta nos holofotes é a energética, afinal existem várias crises vigentes no mercado de eletrônicos, o que tem ocasionado um aumento cada vez maior no preço de seus produtos e serviços. E é baseado nisso que nasce a proposta de uma caldeira caseira, construída pensando especialmente para o pequeno produtor agrícola, que é quem abastece os estoques do país. Com isso, poderá então haver a criação de energia elétrica simples, mas que seja eficiente o suficiente para exercer algumas tarefas específicas e importantes do dia a dia, (como o acender e apagar de lâmpadas por exemplo) que ao mesmo tempo carrega consigo preceitos da economia circular, que é uma reconhecida solução para os atuais paradigmas que o mundo contemporâneo vem enfrentando.

Palavras-chave: Caldeira, economia, energia.

ABSTRACT:

It is observed that the current national and international socioeconomic paradigms have been increasingly bringing more questions and concerns with each passing year. And, without a sliver of doubt, it is safely assumed that one of the most highlighted questions is that of the energetic matter, since there is a decent amount of crisis happening in the electronic industry at the moment, which have in turn, drastically enhanced their product's and service's price. And it's based off of that that the idea of a house made boiler, which: is primarily built for the small farmer (main responsible for providing supplies to the national stocks); is capable of producing small but sufficient quantities to turn lamps on for example; and that carries circular economy principles, that are a known solution for solving the current paradigms the world has been facing, was born.

Keywords: Boiler, economy, energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	9
Figura 2.....	11
Figura 3.....	13
Figura 4.....	16
Figura 5.....	18
Figura 6.....	18
Figura 7.....	20
Figura 8.....	20
Figura 9.....	22
Figura 10.....	23
Figura 11.....	28
Figura 12.....	29
Figura 13.....	30
Figura 14.....	31
Figura 15.....	31
Figura 16.....	32
Figura 17.....	33
Figura 18.....	34
Figura 19.....	34
Figura 20.....	34
Figura 21.....	35
Figura 22.....	35
Figura 23.....	35
Figura 24.....	37
Figura 25.....	38
Figura 26.....	38
Figura 27.....	40
Figura 28.....	42
Figura 29.....	42
Figura 30.....	43
Figura 31.....	44
Figura 32.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	39
Tabela 2	39
Tabela 3	40
Tabela 4	43

LISTA DE FÓRMULAS

Equação de Bernoulli.....	36
Equação Fundamental da Calorimetria.....	43
Equação de Clausius Clapeyron	45

SUMÁRIO

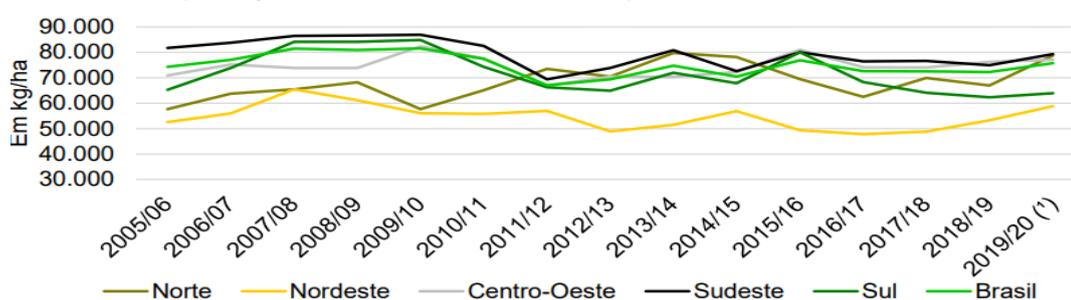
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS	9
2. OBJETIVO GERAL	10
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
3.1 Histórico da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo.....	10
3.2 Economia no Brasil	12
3.3 O pequeno agricultor e sua importância na economia do país	14
3.4 Composição do bagaço da cana.....	15
3.5 Principais tipos e características gerais das caldeiras.....	16
3.5.1 Caldeiras aquotubulares.....	19
3.5.2 Caldeiras mistas	21
3.6 Construção de caldeiras NR-13	24
3.6.1 O que é a NR-13	24
3.6.2 Caldeiras	26
3.6.3 Utilidade para as cinzas	26
3.7 Crises hídricas.....	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Preparo das amostras dos derivados de resíduos celulósicos	31
4.2 Construção da caldeira artesanal	32
4.3 Estudo da energia obtida através da caldeira.....	36
4.4 Ensaios de eficiência da biomassa.....	37
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	39
5.1 Preparo das amostras de biomassa.....	39
5.2 Construção da caldeira artesanal	40
5.3 Estudo da energia obtida através da caldeira.....	43
5.4 Ensaios de eficiência da biomassa.....	44
6. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

A produção de energia é uma das questões mais pesquisadas no mundo atualmente, seja para encontrar meios alternativos de produção, seja para encontrar métodos de aumento de eficiência daqueles existentes. Um dos principais objetivos é encontrar opções sustentáveis de produção que não agridam o meio ambiente. O Brasil é um dos países com a matriz energética mais limpa do planeta, isso deve-se, em grande parte, pelo fato de que ela é predominantemente formada por hidrelétricas, além de ser o maior produtor de etanol a partir da cana-de-açúcar, um combustível renovável e ecológico (KASSINOFF, 2021).

Desde que chegou ao país no início do século XVI, junto com as primeiras caravelas, a cana-de-açúcar se tornou um dos mais importantes cultivos desenvolvidos no Brasil. Atualmente, o país ocupa o primeiro lugar no ranking de produção de açúcar e é o maior exportador de etanol do planeta (Figura 1). (NOVACANA, 2021).

Figura 1: Evolução da Produtividade de Cana



Fonte: AGROPOS, 2020.

A cana tem como subproduto, de maior expressão, o bagaço, que pode representar até 30% da cana moída. No bagaço, restam poucos constituintes da cana, sendo a fibra e o açúcar os mais comuns. O bagaço obtido da moagem da cana inteira, ou seja, cana esmagada, contém mais açúcar do que o bagaço oriundo da cana que foi picada antes de ser moída (TEIXEIRA, 2017).

O bagaço e a palha da cana também servem como combustíveis para a geração de energia elétrica. Atualmente, a maioria das usinas de cana-de-açúcar produzem sua própria energia a partir da queima de bagaço nas caldeiras. (KASSINOFF, 2014).

Além de não emitir o dióxido de enxofre, as caldeiras a biomassa utilizam combustíveis renováveis que podem ser reaproveitados, evitando assim uma destinação incorreta e possuem maior eficiência energética. (MILL, 2019).

A matriz energética brasileira é baseada, em sua maioria, na geração de energia a partir de hidrelétricas. Essa estratégia é bastante eficiente, econômica e limpa. Porém, em um período de escassez de água, como o momento em que vivemos agora, não há outra solução, as termelétricas devem ser acionadas! (LORENSETTI, 2021)

Termoelétricas são caldeiras que funcionam com uma turbina a vapor. Quando o combustível é queimado, ele aquece um reservatório com água, produzindo vapor com uma pressão bastante alta, que é capaz de mover as pás de uma turbina, que por sua vez aciona um gerador, resultando na energia elétrica. (LORENSETTI, 2021).

2. OBJETIVO GERAL

Estudar as propriedades e características de diferentes matrizes energéticas provenientes de resíduos celulósicos e sua transformação em energia através do uso de uma caldeira caseira de modo a auxiliar o pequeno agricultor.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo dos tempos a doçura sempre foi relacionada com a pureza e com o prazer, como uma das mais agradáveis e sutis sensações. É instintivo, pois de todos os paladares básicos é o único que traz satisfação em todas as intensidades. Basta observarmos um recém-nascido como se comporta diante de um alimento com essa característica. Como fonte de energia para homens e animais, o sabor doce serve de atrativo para que se consumam carboidratos, sendo o açúcar a mais comum dessas substâncias que são essenciais à vida (MACHADO, 2021).

3.1. Histórico da cana-de-açúcar no Brasil e no mundo

Foi na Nova Guiné que o homem teve o primeiro contato com a cana-de-açúcar. De lá, a planta foi para a Índia (Figura 2). No "Atharvaveda", o livro dos Vedas, há um trecho curioso: "Esta planta brotou do mel; com mel a arrancamos; nasceu a doçura. Eu te enlaço com uma grinalda de cana-de-açúcar, para que me não sejas esquiva, para que

te amores de mim, para que não me sejas infiel". A palavra "açúcar" é derivada de "shakkar" ou açúcar em sânscrito, antiga língua da Índia (UDOP, 2013).

Desconhecida no Ocidente, a cana-de-açúcar foi observada por alguns generais de Alexandre, o Grande, em 327 a.C e mais tarde, no século XI, durante as Cruzadas. Os árabes introduziram seu cultivo no Egito no século X e pelo Mar Mediterrâneo, em Chipre, na Sicília e na Espanha. Credita-se aos egípcios o desenvolvimento do processo de clarificação do caldo da cana e um açúcar de alta qualidade para a época. O açúcar era consumido por reis e nobres na Europa, que a adquiriam de mercadores monopolistas, que mantinham relações comerciais com o Oriente, a fonte de abastecimento do produto. Por ser fonte de energia para o organismo, os médicos forneciam açúcar em grãos para a recuperação ou alívio dos moribundos. No início do século XIV, há registros de comercialização de açúcar por quantias que hoje seriam equivalentes R\$ 200,00/kg. Por isso, quantidades de açúcar eram registradas em testamento por reis e nobres (UDOP, 2013).

Figura 2: Plantação de Cana-de-Açúcar na Índia



Fonte: RUBENICH, 2020.

Coube a Cristóvão Colombo, navegador genovês e genro de um grande produtor de açúcar na Madeira, a primazia da descoberta da América em 1492, enquanto procurava uma nova rota para as Índias, financiado pela Rainha Isabel da Espanha. Foi ele também que em sua segunda viagem à América (1493) introduziu a cana-de-açúcar na região onde hoje é a República Dominicana. Mas com a descoberta do ouro e prata das civilizações

Asteca e Inca pelos espanhóis no início do séc. XVI, o cultivo e a produção de açúcar foram praticamente esquecidos (MACHADO, 2021).

Os portugueses, que já se beneficiavam do conhecimento da rota das Índias a leste, se seguiram aos espanhóis no intuito de também se beneficiarem de tão rendosa descoberta e chegaram ao Brasil com Cabral em 1500, no entanto não lograram encontrar metais preciosos, mas tão somente uma exuberante terra, e assim, novamente voltaram sua atenção à Índia e à rentável comercialização de seus artigos e especiarias. Somente cerca de trinta anos depois, ao verem as novas terras ameaçadas pelas invasões cada vez mais frequentes de ingleses e franceses na costa brasileira é que os portugueses finalmente decidiram tomar posse efetivamente da terra (MACHADO, 2021).

3.2. Economia no Brasil

Segundo o site Yara Brasil (2020), o Brasil é o maior produtor de Cana-de-Açúcar do mundo, com 720 milhões de toneladas e 40% do cultivo em todo o mundo (Figura 3). Ao combinar a produção do Brasil com China e Índia, percebe-se que esses três países correspondem a dois terços da produção mundial de cana-de-açúcar a partir de aproximadamente 15 milhões de hectares cultivados. Fatores climáticos, principalmente disponibilidade hídrica, são os fatores que mais influenciam a produção. Enquanto as médias de produtividade de cana-de-açúcar no mundo são perto de 60t/ha, alguns países produzem médias de 100t/ha ou mais.

A expansão da produção também ocorria no Nordeste, concentrada em Pernambuco e Alagoas. As usinas nordestinas eram responsáveis por toda a exportação brasileira e ainda complementavam a demanda dos estados do sul. A produção do Nordeste somada à de Campos, no norte fluminense, e a rápida expansão das usinas paulistas acenavam para um risco eminente: a superprodução. Para controlar a produção surgiu o IAA (Instituto do Açúcar e Alcool), criado pelo governo Vargas em 1933. O IAA adotou o regime de cotas, que atribuía a cada usina uma quantidade de cana a ser moída, a produção de açúcar e também a de álcool. A aquisição de novos equipamentos ou a modificação dos existentes também precisavam de autorização do IAA. (UDOP, 2003).

Por ocasião da criação do Instituto Agrônomo em 1887, o Estado de São Paulo tinha o café como sua grande expressão econômica. A produção da cana-de-açúcar organizava-se através da criação de engenhos centrais. O primeiro trabalho do IAC com cana estudou o comportamento de 42 variedades cultivadas na ocasião, com e sem a utilização do esterco de curral, e fez parte do Relatório Anual da instituição de 1894. Os

resultados desses experimentos permitiram selecionar variedades mais adaptadas, as quais foram multiplicadas e distribuídas para os agricultores do Estado de São Paulo. (O AGRONÔMICO, 2017).

Na década de 1950, foi conduzida uma grande rede experimental de ensaios de nutrição da cana, que determinou uma nova adubação NPK e uma tabela de calagem para a cultura. Essa contribuição foi muito relevante, pois, em alguns casos, o aumento de produtividade com a adoção da nova tabela superou vinte toneladas de colmos por hectare, contribuindo para que, no final da década, o Estado de São Paulo suplantasse em produtividade a região nordestina, até então a tradicional e maior produtora de cana-de-açúcar. (O AGRONÔMICO, 2017).

A revolução Cubana e a exclusão de Cuba do grupo de exportações preferenciais de açúcar para os Estados Unidos criaram novo clima de euforia para o setor canavieiro brasileiro. O Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) projetou grande demanda de açúcar e expandiu em mais de 50% a capacidade produtiva, estimulando a criação de novas usinas. Tudo isso foi cena de fundo para a criação do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL) na década de 1970. Em aproximadamente dez anos, a produção de cana brasileira saltou de 70 para 200 milhões de toneladas moídas. (O AGRONÔMICO, 2017).

Entre os maiores produtores com mais de 20 milhões de toneladas ao ano, Colômbia, Argentina, Austrália, Filipinas e Brasil normalmente possuem médias de produtividade de 80 t/ha ou superior (SEM AUTOR, 2020).

Figura 3: Produção mundial da cana-de-açúcar

CANADA-AÇÚCAR - RANKING MUNDIAL DA PRODUÇÃO		
País	Toneladas (milhões)	Participação (%)
Brasil	549,7	36,6
Índia	355,5	23,6
China	106,4	7,0
Tailândia	64,3	4,2
Paquistão	52,0	3,4

Fonte: *Almanaque do Campo*, 2017.

O Estado de São Paulo, de acordo com os dados divulgados pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) em 2020, permanece como o principal produtor em âmbito nacional, respondendo por 53,7% da produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2019/20, em curso, e deverá ser responsável pela produção de 46,2% de etanol (16,4

bilhões de litros) e 62,6% do açúcar (18,8 milhões de toneladas). No estado, concentra-se 42,29% do total de unidades de produção de açúcar e álcool distribuídos no país, segundo o cadastro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (NACHILUK, 2020).

Em território paulista, a área plantada com a cultura, em 2019, deverá permanecer em torno de 6,15 milhões de hectares, de acordo com o levantamento de previsão de safra⁵ realizado pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) em parceria com a Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável (CDRS). A área plantada permanece estável nos últimos no estado, decorrendo o aumento da produção ao crescimento de produtividade (NACHILUK, 2020).

Em relação ao valor bruto da produção agropecuária do Estado de São Paulo, a estimativa preliminar indica que em 2019 a cultura foi responsável por 36,06% (R\$28,98 bilhões) do valor bruto da produção total paulista, configurando-se como a principal atividade econômica de sua agricultura. O complexo sucroenergético (açúcar e o etanol) ocupou posição de destaque nas exportações paulistas de 2019, representando 26,89% (US\$4,07 bilhões) das exportações do estado. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar e de açúcar do mundo, e é o segundo maior produtor de etanol, situando-se entre os maiores exportadores de açúcar (NACHILUK, 2020).

3.3. O pequeno agricultor e sua importância na economia do país

O agronegócio é responsável por 21,1% do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, o que significa que mais de um quinto de tudo o que é gerado no Brasil sai da agricultura. E, desse total, cerca de 25% é proveniente da agricultura familiar, ou seja, 5% do PIB brasileiro tem origem nas propriedades dos pequenos empreendedores rurais (SINDITABACO, 2019).

Segundo o site Sinditabaco (2019), no total, o Brasil possui 4,1 milhões de pequenos produtores. “Cerca de 84% de todas as propriedades rurais do país são de pequenos agricultores”, revela o secretário. E, conforme ele, o agronegócio é uma área que está em constante desenvolvimento, pois o setor agrícola, utilizando praticamente a mesma área de terra, duplicou sua produção de grãos e triplicou a produção de carne. “É fundamental que o produtor siga fazendo a sua parte, o que inclui um forte trabalho de gestão dentro da propriedade rural”, aconselha.

“O agricultor merece reconhecimento três vezes ao dia: no café da manhã, no almoço e no jantar. “Se as pessoas têm em casa leite, pão, queijo, schmier e manteiga, por exemplo, é porque alguém produziu”.

Schwanke, 2019.

3.4. Composição do bagaço da cana

O bagaço da cana-de-açúcar é o maior resíduo da agroindústria brasileira. Estima-se que, a cada ano, sobrem de 5 a 12 milhões de toneladas deste material, que corresponde a aproximadamente 30% da cana moída (SEM AUTOR, 2021).

Merecem destaque seu emprego como matéria-prima na indústria de papel e papelão, na fabricação de aglomerados, na indústria química, como material alternativo na construção civil, como ração animal e na produção de biomassa microbiana. Mesmo assim há ainda um excedente deste resíduo que não é utilizado, causando sérios problemas de estocagem e poluição ambiental. Alguns autores afirmam que esse excedente de bagaço pode chegar a 10% em usinas com destilaria anexa ou a 30% em destilarias autônomas (SEM AUTOR, 2021).

As fibras do bagaço da cana contêm, como principais componentes, cerca de 40% de celulose, 35% de hemicelulose e 15% de lignina, sendo este último responsável pelo seu poder calórico. A celulose e a hemicelulose são as duas formas de carboidratos mais abundantes da natureza e representam um potencial de reserva para a obtenção de produtos de interesse comercial. (SEM AUTOR, 2021).

O bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto fibroso resultante da moagem da cana e que pode ter diversos usos. Mesmo após a extração da sacarose e outros nutrientes, o bagaço ainda contém muita matéria orgânica (Figura 4), sendo assim uma possível fonte demais energia e de outros produtos de química fina. (OMUNDODASLEVEDURAS, 2012).

Figura 4: Tabela de Componentes do Bagaço da Cana-de-açúcar.

Componentes (%)	Bagaço de cana-de-açúcar		
	<i>In natura</i>	<i>Extraído com etanol</i>	<i>Extraído com ciclohexano/etanol</i>
Celobiose	3,34	3,22	3,08
Glicose	46,20	48,17	48,66
Hidroximetilfurfural	0,30	0,30	0,31
Ácido fórmico	0,56	0,39	0,38
Xilose	24,21	24,79	24,27
Arabinose	1,70	1,66	1,66
Furfural	1,25	1,40	1,50
Ácido glucurônico	1,09	0,99	0,93
Ácido acético	2,64	2,83	2,83
Lignina solúvel	2,61	2,62	1,45
Lignina insolúvel	23,66	21,54	21,41
Cinzas	1,61	1,61	1,61
Extrativos	-	4,10	6,13

Fonte: ABQ, 2021.

3.5. Principais tipos e características gerais das caldeiras

A caldeira industrial é um equipamento metálico considerado essencial em diversos processos industriais. Ela é responsável por produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando para isso diversas fontes combustíveis. (SEM AUTOR, 2021).

Em termos simples, uma caldeira industrial é um enorme tanque fechado onde o líquido é aquecido, formando um fluido vaporizado que serve em vários processos ou aplicações de aquecimento. O vaso de pressão em uma caldeira é normalmente feito de aço ou ferro fundido. O aço inoxidável não é indicado para uso em caldeiras mais modernas, mas são comumente usados em seções de superaquecedores que não serão expostos ao líquido da caldeira. (SEM AUTOR, 2021).

De acordo com o site TSAmbientali (2018), a caldeira a vapor tal como conhecemos hoje é a evolução dos protótipos surgidos durante a primeira Revolução Industrial, no século XVIII. Elas foram feitas para diminuir os inconvenientes causados pela queima do carvão. Com o advento das caldeiras a vapor, a combustão se concentrava em apenas um ponto da indústria, e o calor era distribuído através das tubulações de vapor.

Por muitos anos, usinas de açúcar queimaram o bagaço, o subproduto fibroso do processamento da cana-de-açúcar, usando caldeiras especiais que produzem o vapor necessário para a fabricação do açúcar e álcool. Como o custo de alimentar este equipamento pela queima de combustíveis fósseis tem aumentado constantemente, o uso de cogeração de biocombustível como fonte de produção de energia tornou-se mais

prevalente. Muitas usinas de açúcar atualizaram suas caldeiras movidas a bagaço e as ligaram a geradores que produzem eletricidade usada para abastecer as operações da usina e para serem vendidos à rede elétrica local. (SEM AUTOR, 2021).

A medição dos níveis de O₂ (oxigênio), CO (monóxido de carbono) e C_xH_y (hidrocarbonetos) emitidos por caldeiras a partir de bagaço informará os operadores da usina se seus equipamentos estiverem queimando a biomassa de maneira limpa e eficiente. A obtenção de maior eficiência permitirá que eles minimizem a quantidade de combustível fóssil auxiliar usado para ajudar a alimentar o sistema. (SEM AUTOR, 2021).

De acordo com o site Mill (2020), algumas dentre as principais utilidades de uma caldeira:

- **Caldeiras em hotéis e hospitais:** Nos hotéis e hospitais, as caldeiras podem ser utilizadas como fonte de energia para o aquecimento da água do chuveiro da lavanderia e também para a limpeza e esterilização de dependências que necessitam de rotinas severas de higienização, como cozinhas e centros cirúrgicos.
- **Caldeiras em frigoríficos:** Assim como nos hospitais as caldeiras também atuam no aquecimento da água para a higienização de frigoríficos e também para a esterilização de utensílios.
- **Caldeiras na indústria têxtil:** Na indústria têxtil, as caldeiras geram o calor necessário e aquecem a água utilizada para alvejar, tingir e secar roupas.
- **Caldeiras nos laticínios:** Na indústria de laticínios as caldeiras atuam em diversas etapas imprescindíveis para o preparo do leite para consumo e seus derivados. Como, por exemplo, a pasteurização, a esterilização e a fermentação.
- **Caldeiras nas madeireiras:** Na indústria madeireira, as caldeiras surgem como solução para manter as estufas de secagem sempre aquecidas.
- **Caldeiras na geração de energia:** Muita gente não sabe, mas as caldeiras também podem ser utilizadas na geração de energia, sendo esse inclusive o princípio de funcionamento das usinas termelétricas.

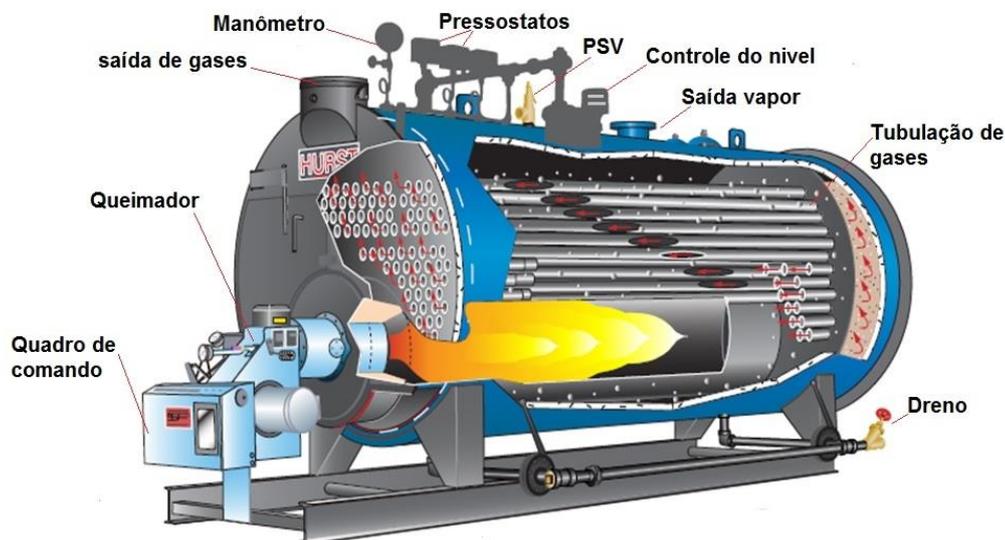
TIPOS DE CALDEIRAS

✓ Caldeiras Flamotubulares

As caldeiras flamotubulares (Figura 5), como o próprio prefixo “flamo” indica, comportam o “fogo” dentro dos tubos. Isso quer dizer que a fumaça e os gases resultantes da queima, passam por dentro dos tubos, aquecendo-os. Em volta desses tubos está a água

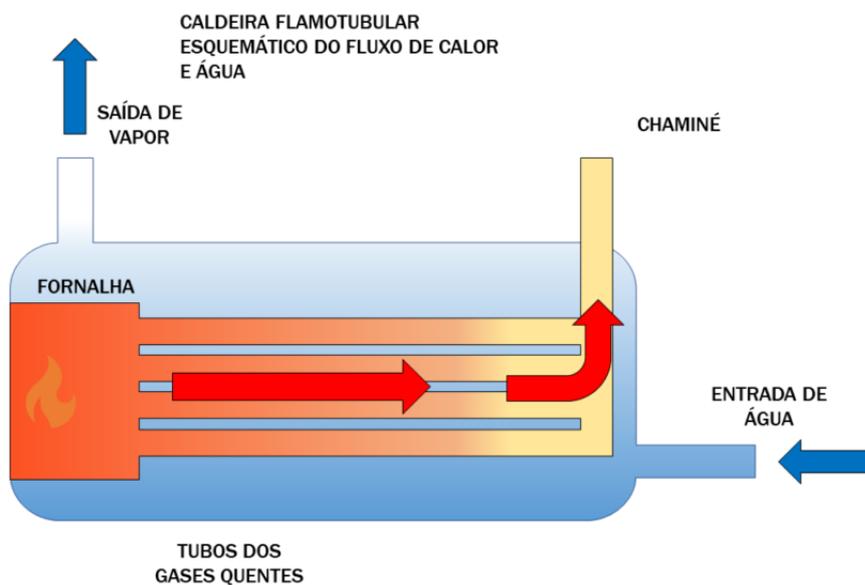
para onde o calor do metal é transferido, aquecendo-a também e gerando o vapor (Figura 6). (TSAmbientali, 2018).

Figura 5: Caldeira Flamotubular



Fonte: SEM AUTOR, 2021.

Figura 6: Esquema do fluxo da água e calor da caldeira flamotubular



Fonte: Togawa Engenharia, 2021.

De acordo com o site Mill (2020), uma caldeira flamotubular é formada por três importantes componentes, são eles:

- **Gerador de Vapor:** O gerador de vapor é um dos componentes mais importantes para o funcionamento de uma caldeira. Também conhecido como

reservatório, sua função consiste em armazenar a água aquecida ou em aquecimento que posteriormente será utilizada em diversos fins.

- **Fornalha:** Além do gerador de vapor, as caldeiras também contam com uma fornalha, cuja responsabilidade consiste em promover a queima de combustíveis, gerando o calor necessário para o aquecimento da água.
- **Tubos de chama:** Por fim, temos os tubos de chama, que recebem o calor gerado na queima de combustíveis e os transportam para a água no interior das caldeiras.

De acordo com o site GBTécnica (2021), há dois tipos de caldeiras flamotubulantes: as verticais e as horizontais. As caldeiras Verticais podem ser:

- **Com fornalha externa;**
- **Com fornalha interna.**
- **As caldeiras Horizontais podem ser:**
- **Com fornalha interna;**
- **Com fornalha externa;**
- **Unitubulares ou tubulares;**
- **Com uma tubulação central (Cornovaglia);**
- **Com duas ou mais tubulações (Lancashire);**
- **Locomotivas e Locomoveis;**
- **Escocesas;**
- **Marítimas;**
- **Estacionárias/ Compactas.**

3.5.1. Caldeiras Aquatubulares

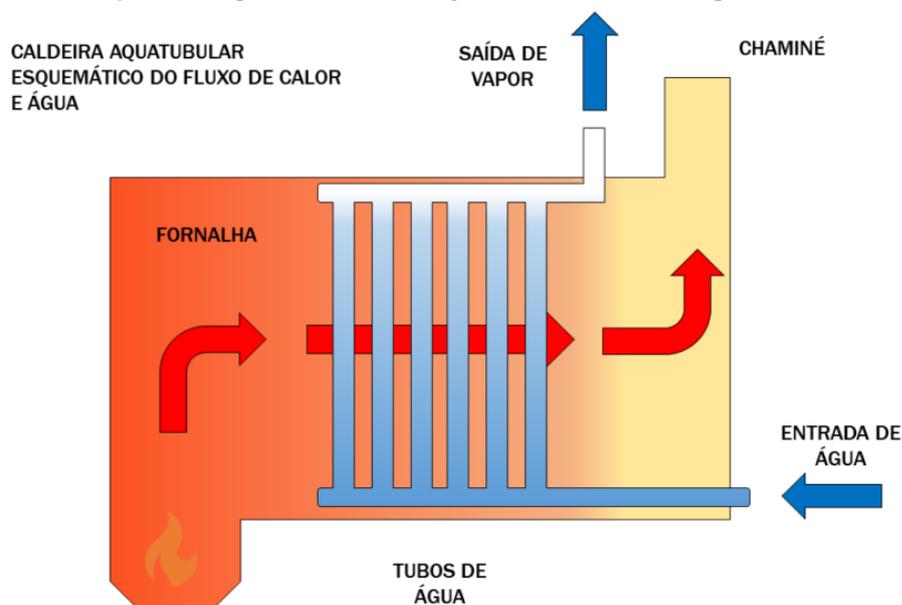
Em uma caldeira deste tipo (Figura 7), diferente da anterior, é a água que passa por dentro dos tubos. O calor advindo da queima passa em volta dos tubos, aquecendo-os. Os tubos, por sua vez, transferem o calor para a água que está dentro deles, gerando o vapor (Figura 8). Essa é opção é ideal quando o objetivo é obter mais vapor e tem sido muito usada nas usinas termoelétricas. (GBTécnica, 2021).

Figura 7: Caldeira Aquatubular.



Fonte: SEM AUTOR, 2021.

Figura 8: Esquema do fluxo da água e calor da caldeira aquatubular.



Fonte: Togawa Engenharia, 2021.

De acordo com o site GBTécnica (2021), as partes principais de uma caldeira tubular são:

- **Tubulão superior (ou tambor de vapor):** Ficam na parte superior da caldeira e armazenam água no estado líquido e gasoso.
- **Tubulão inferior (ou tambor de lama):** Ficam localizados na parte inferior da caldeira e é responsável por abastecer com água as partes de troca térmica.

- **Feixe tubular (feixe convectivo):** É composto por tubos com água que recebem calor dos gases quentes através da convecção.
- **Parede de água:** Reveste a fornalha e absorve o calor da chama, de forma a resfriar a fornalha. A água é vaporizada no interior dos tubos de troca térmica.
- **Fornalha (câmara de combustão):** Onde ocorre a queima do combustível, muda de acordo com o combustível a ser utilizado.
- **Superaquecedor:** É formado por tubos lisos e aletados. Ficam no fluxo dos gases de combustão para dar o devido aquecimento ao vapor saturado e transformá-lo em superaquecido.
- **Outros equipamentos denominados como auxiliares ou periféricos:** Ajudam a boa operação de uma caldeira, são eles: economizador, pré-aquecedor e soprador de fuligem.

De acordo com o site Thamil (2021), algumas das principais vantagens das caldeiras aquatubulares:

- Maior produção de vapor;
- Permitem trabalho com altas pressões;
- Possibilidade de trabalho em altas temperaturas;
- A vaporização pode ser alimentada por todos os tipos combustível, inclusive a biomassa de baixo poder calorífico e dificuldades de queima;
- Simplificação na limpeza dos tubos, podendo ser realizada de forma automática;
- Durabilidade, o tempo de vida de uma caldeira aquatubular pode chegar até 30 anos.

Devido a essas características, esse tipo de caldeira é utilizado principalmente na geração de energia. Mas oferece a possibilidade de desenvolver projetos menores para utilização em processos industriais. (MULTIAGUA, 2021).

Ainda, vale ressaltar que ela suporta qualquer tipo de combustível. (MULTIAGUA, 2021).

3.5.2. Caldeiras Mistas

As caldeiras mistas (Figura 9), são uma junção das aquatubulares e das flamotubulares. Elas misturam o processo de combustão das caldeiras flamotubulares com as paredes de tubos de água, característica das caldeiras aquatubulares. (AGÊNCIA BRANDE, 2020).

A geração de vapor (Figura 10) com esse tipo de caldeira é realizada através do uso de combustíveis sólidos. Outra característica que vale se atentar nesse tipo de caldeira, é que a mesma suporta baixas pressões e temperaturas. (AGÊNCIA BRANDE, 2020).

Na prática, uma caldeira mista inclui duas casas (um para cada combustível) que operam de forma independente. Estas duas casas podem ser agrupadas na mesma caldeira ou permanecer separadas. Temos então um sistema onde duas caldeiras são combinadas diretamente. (SEM AUTOR, 2021)

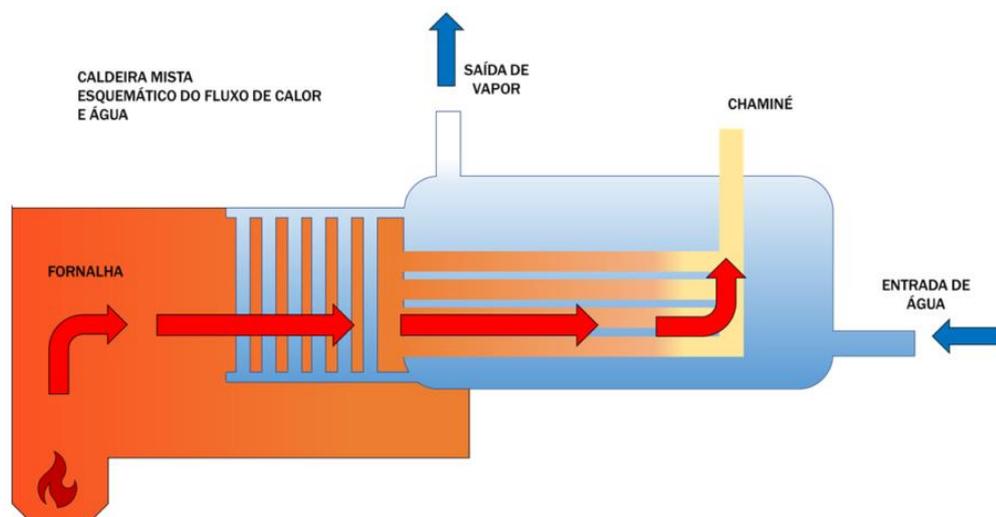
De acordo com Duitdesign (2021), todos os combustíveis estão envolvidos e podemos encontrar várias combinações de caldeiras mistas: caldeira mista madeira / solar, elétrica / solar, a gás / solar (mudamos para o primeiro combustível à noite ou no inverno, quando há pouca ou nenhuma luz), mas também madeira / gás, madeira / óleo, madeira / carvão, toras / pellets.

Figura 9: Caldeira Mista



Fonte: SEM AUTOR, 2021.

Figura 10: Esquema do fluxo da água e calor da caldeira mista



Fonte: Togawa Engenharia, 2021.

De acordo com o site Duitdesign (2021), combinar e alternar dois tipos de combustíveis diferentes, tem muitas vantagens:

- A grande vantagem das caldeiras mistas é, sem dúvida, seu desempenho. Estas caldeiras autônomas adaptam-se perfeitamente às condições climáticas e ao seu ambiente, e mudam automaticamente para o combustível mais interessante para nós; e isso a todo momento. Com caldeiras mistas, esquecemos o desperdício de energia!

- Obviamente, quem quer que diga duas caldeiras diz o dobro de energia.
- Como as caldeiras mistas operam separadamente, se uma das duas caldeiras se rompe, a outra assume diretamente. Nós não nos encontramos de repente sem aquecimento ou água quente na casa. Prático, porque em caso de falha da caldeira, os tempos de resposta são por vezes longos.

- No caso de um aumento súbito no preço de um dos dois combustíveis (ou falta de combustível), mudamos para o combustível que é o menos caro. Caldeiras misturadas podem funcionar com um combustível e o outro em stand-by.

- Um sistema de aquecimento ecológico. Modelos de caldeiras combinadas de madeira / pellets e madeira / solar funcionam sem eletricidade, com 100% de energias renováveis!

De acordo com o site Duitdesign (2021), combinar e alternar dois tipos desses combustíveis também oferecem desvantagens:

- **O preço bastante alto.** Seja qual for o modelo desejado, impossível de obter por menos de 7000 € (excluindo instalação). Os preços podem chegar a 15-20000 € para os modelos mais potentes. Um bom investimento, que pode, no entanto, tornar-se rentável por uma poupança elevada de retorno e aquecimento, por um lado, e um crédito fiscal (variável em função dos modelos), ajudas estatais através do departamento, da região ou a agência nacional de melhoria do hábitat (informação em prefeitura ou pela energia de informação de centro da região).
- **Precisa de um lugar.** Para caldeiras mistas de madeira / combustível, por exemplo, é necessário ter 2 caldeiras separadas. Não é fácil de configurar, se a nossa casa não é grande o suficiente.

3.6. Construções de caldeiras NR-13

3.6.1. O que é a NR-13

A norma regulamentadora nº 13, cujo recebe o título de Caldeiras, vasos de pressão e tubulações, é regulamentada pela Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978 do Ministério do Trabalho e Emprego – MTE.

De acordo com o site Previnsa (2018), a NR 13 se trata da norma que determina os requisitos mínimos para a gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão e suas tubulações de interligação ligados à operação, inspeção, instalação e manutenção. Resumindo em tópicos, podemos dizer que ela pode oferecer as seguintes vantagens:

- **Redução de danos ao patrimônio físico da empresa;**
- **Diminuição do número de acidentes;**
- **Motivação dos trabalhadores quanto às questões de segurança e saúde do trabalho;**
- **Mapeamento de riscos que podem causar acidentes de trabalho e doenças ocupacionais;**
- **Redução dos encargos trabalhistas e previdenciários.**

De acordo o site Betaeducação (2015), a norma regulamentadora nº 13 diz que, as caldeiras, os vasos de pressão e as tubulações podem ser definidas, respectivamente, da seguinte forma:

Caldeiras a vapor – São equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refervedores e similares.

Vasos de Pressão – São equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa, diferente da atmosférica.

Tubulações – São conjuntos de linhas, incluindo seus acessórios, projetadas por códigos específicos, destinadas ao transporte de fluidos entre equipamentos de uma mesma unidade de uma empresa dotada de caldeiras ou vasos de pressão.

De acordo com o site Previnsa (2018), para garantir a saúde e segurança dos trabalhadores envolvidos, a aplicação na NR-13 é obrigatória nas organizações que tenham esses equipamentos instalados. Ela é importante para assegurar:

- Responsabilidades e condições para a instalação;
- Segurança de operação;
- Segurança de manutenção;
- Inspeção de segurança nas caldeiras e vasos de pressão.

As caldeiras têm uma larga abrangência dentro da norma, independentemente da potência, tipo ou tamanho. Segundo o texto descrito na NR 13, elas só precisam seguir a seguinte definição para se submeter à norma: “equipamento destinado a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refervedores e similares.” (PREVINSA, 2018).

Conforme o site prometal EPIS (2019) diz, segundo o item 13.2.1 da Norma Regulamentadora nº 13, as regulamentações descritas neste documento devem ser aplicadas nas empresas que comportarem os seguintes equipamentos:

a) todos os equipamentos enquadrados como caldeiras conforme item 13.4.1.1; (que veremos logo abaixo)

b) vasos de pressão cujo produto P.V seja superior a 8 (oito), onde P é a pressão máxima de operação em kPa e V o seu volume interno em m³;

c) vasos de pressão que contenham fluido da classe A especificados no item 13.5.1.2 (que veremos em breve), alínea “0”, independente das dimensões e do produto P.V;

d) recipientes móveis com P.V superior a 8 (oito) ou com fluido da classe A especificados no item 13.5.1.2, alínea “0”;

e) tubulações ou sistemas de tubulação interligados a caldeiras ou vasos de pressão, que contenham fluidos de classe A ou B conforme item 13.5.1.2, alínea “0” desta NR.

Além disso, empresas que possuam os equipamentos descritos abaixo deverão submeter a processos de inspeção prevista nos códigos e normas nacionais ou internacionais que estejam relacionados aos mesmos, dispensando-se assim dos demais requisitos desta NR. (PROMETAL EPIS, 2019).

De acordo com Prometal EPIS (2019), vale destacar que, no corpo da caldeira, existem uma série de informações que precisam estar legíveis, como:

- Nome do fabricante;
- Ano de fabricação;
- Capacidade;
- Código do projeto;
- Ano de edição;
- Pressão máxima admissível;
- Pressão de teste, entre outras.

3.6.2 Caldeiras

De acordo com o site Betaeducação (2015), as caldeiras são classificadas em 3 (três) categorias, conforme seguir:

Caldeiras da categoria A: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,98 kgf/cm²);

Caldeiras da categoria B: são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

Caldeiras da categoria C: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5,99 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 l (cem litros);

3.6.3. Utilidade para as Cinzas

As cinzas de caldeira têm uma grande utilidade como fertilizantes e adubos, cerâmicas vítreas e argamassas. (DAROLT; OSAKI, 1991).

Cada tipo de cinza possui alguma melhor aplicação. As cinzas vegetais, pouco utilizadas na agricultura como adubo do solo, contêm cálcio, magnésio, fósforo e outros elementos que podem ter influência no desenvolvimento das plantas. Dentre estes

elementos, alguns são micronutrientes essenciais para o desenvolvimento dos seres vivos, como, por exemplo, Cu, Zn, Mg Fe e B (RIGAU; DAROLT e OSAKI).

A cinza vegetal é rica em nutrientes necessários a nutrição de plantas, geralmente em sua composição encontram-se quantidades variadas de potássio, fósforo e cálcio, sendo a composição desse resíduo influenciada pelas características do material que lhe deu origem. Mediante essas características, a cinza vegetal vem apresentando potencial para uso agrícola podendo ser utilizada na adubação em práticas de manejo de solo com baixa fertilidade natural. (BOMFIM-SILVA; SANTOS; VILELA, 2013).

Ripoli e Ripoli (2010), definem biomassa do ponto de vista energético como toda matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal que pode ser transformada em energia. No setor sucroenergético, destaca-se como biomassa o bagaço, a palhada e os ponteiros da cana, além do vinhoto das destilarias de álcool como subprodutos que podem ser utilizados na produção de eletricidade via cogeração.

Especificamente, a queima do bagaço em caldeira é responsável pela produção de energia no processo chamado de cogeração energética. O termo cogeração envolve a produção combinada de calor útil e energia mecânica (para movimentar máquinas, equipamentos e turbinas de geração de energia elétrica), e consiste em um sistema padrão constituído de uma turbina a vapor que aciona um gerador de corrente elétrica e um trocador de calor através da queima do bagaço em caldeira (RIPOLI; RIPOLI, 2010).

Assim, a biomassa de cana-de-açúcar passou a representar 15,4% da matriz energética nacional, perdendo apenas para o petróleo (EPE, 2013). Toda essa representatividade tornou esse processo irreversível, ou seja, a queima do bagaço de cana-de-açúcar em caldeira para a geração de energia passou a ser um ponto estratégico para o setor energético nacional. (BEGA, 2014).

As cinzas de biomassa de cana-de-açúcar são produzidas na queima do bagaço, um resíduo da produção de açúcar e álcool, que deve ser disposto no meio ambiente de forma controlada. “Normalmente, o bagaço é queimado para gerar energia nas usinas, só que as cinzas que sobram do processo não são reaproveitadas para produção de produtos, sendo colocadas no solo com outros resíduos industriais, como a torta e o vinhoto”, aponta a química Denise Alves Fungaro. “A princípio, essa utilização dos resíduos funcionaria como fertilizante para o solo, mas as cinzas possuem nutrientes escassos com baixa dissolução, não sendo muito eficientes para essa função. Além disso, a toxicidade do resíduo também não é avaliada.” (BERNARDES, 2017).

O interesse em estudar a obtenção de sílica das cinzas do bagaço de cana veio da experiência do grupo de pesquisa do Ipen com cinzas de carvão mineral, um resíduo que pode ser transformado em materiais com alto valor agregado, por ser fonte de sílica e alumina. “Estudos relatados na literatura apontaram que as cinzas de biomassa de cana-de-açúcar possuem, no mínimo, 60% de sílica. Esse fato, aliado à grande produção de cana-de-açúcar no Brasil, gerando esse resíduo muito abundante e não aproveitado, deu início a essa linha de pesquisa”, conta Denise. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a estimativa de produção para a safra 2016/2017 era de 684,77 milhões de toneladas de cana. Cada tonelada gera de 250 a 270 quilos (kg) de bagaço, cuja queima com as palhas e pontas (mais 200 kg por tonelada) resulta em 1% a 4% de cinzas. (BERNARDES, 2017).

Figura 11: Uso da cinza de bagaço de cana-de-açúcar na indústria

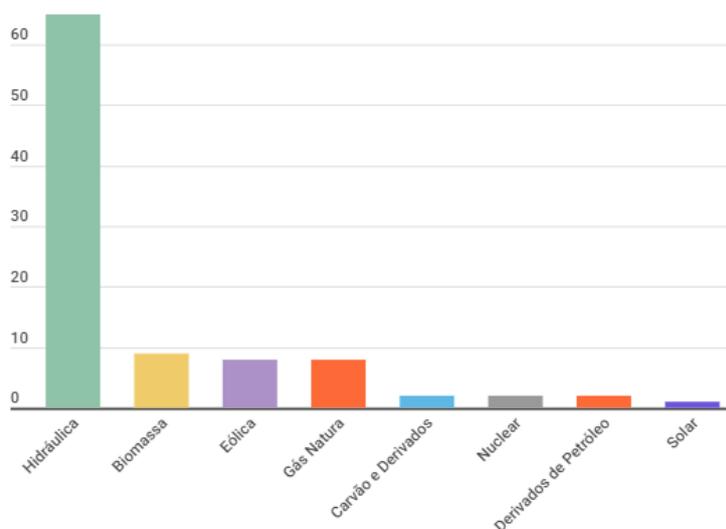
Setor de Viabilidade	Uso/fabricação	Vantagem	Citado por
Construção civil	Cerâmicas vermelhas e/ou vítreas	Aumenta as propriedades térmicas	Teixeira et al. (2008); Teixeira et al. (2014)
Construção civil	Cimento	Substitui 20% de cimento	Paula et al. (2009)
Infraestrutura urbana	Concretos asfálticos	Aumenta em 70 % a resistência à tração	Leal; Castro (2007)
Indústria de biocombustível	Briquetes	Melhora a densidade e poder calorífero	Teixeira; Peña; Miguel (2010)

Fonte: CAMPOS, 2014.

3.7. Crises Energéticas

Região mais populosa e industrializada do Brasil, o sudeste sofre com a pior estiagem dos últimos 90 anos. A escassez das chuvas provoca o esvaziamento dos reservatórios das hidrelétricas, responsáveis por mais de 60% da geração de energia elétrica no país. (PAJOLLA, 2021).

Com a estiagem em nível recorde este ano, o Brasil voltou a se preocupar com medidas de racionamento e com o risco de um novo apagão. Passadas duas décadas, porém, as fichas da geração de energia foram diversificadas. Um relatório do Ministério de Minas e Energia em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostrou que, em 2020, a dependência das hidrelétricas caiu para 65,2%. O principal motivo é o aumento da capacidade de produção de outras fontes: biomassa (9,1%), eólica (8,8%), gás natural (8,3%), carvão e derivados (2,7%), nuclear (2,2%), derivados de petróleo (2,1%) e solar (1,7%). (MACÁRIO, 2021).

Figura 12: Matriz elétrica brasileira em 2020

Fonte: MACÁRIO, 2021.

O Brasil tem 54% de participação estatal na chamada “capacidade instalada” de geração de energia hidrelétrica, que é a soma das potências instaladas de todas as usinas em operação. O restante está sob controle da iniciativa privada. (PAJOLLA, 2021).

O número é baixo se comparado com países como Estados Unidos (75%), França (78%) e Canadá (87%). Já na operação das linhas de transmissão, 85% da operação é feita por empresas privadas. Os dados são do Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese).(PAJOLLA, 2021).

Uma fonte também alternativa e renovável que em 2020 foi a segunda principal geradora de energia foi o biogás (9,1%), ou biomassa. Essa energia é produzida a partir dos gases gerados na decomposição de matéria orgânica, como bagaço de cana-de-açúcar, restos de alimentos e até excremento animal, entre outros. “Há muitos projetos no Brasil nesse sentido. Uma fábrica no Paraná, por exemplo, usa seus resíduos para gerar biogás em vez de aterrá-los. Com isso, conseguem dar conta do consumo interno de eletricidade. Se houvesse uma maneira de incentivar ainda mais o biogás, poderia substituir o gás natural, um combustível fóssil que emite gases como o CO₂ e NH₄, nocivos para a atmosfera”, diz Mandonado. (MACÁRIO,2021)

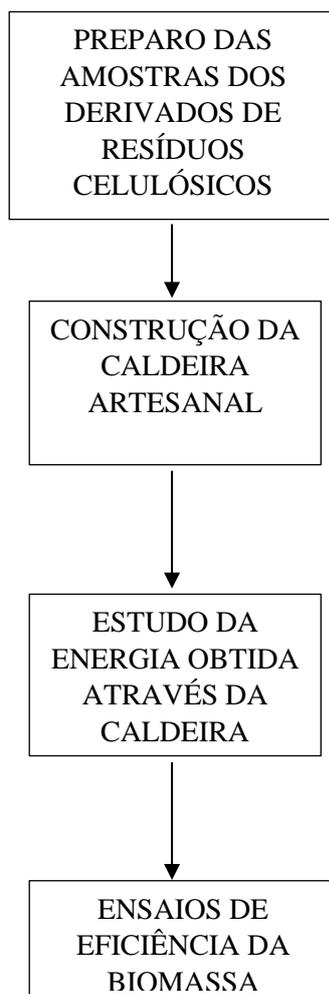
Uso da biomassa em larga escala também exige certos cuidados que devem ser lembrados, durante as décadas de 1980 e 1990 o desenvolvimento impetuoso da indústria do álcool no Brasil tornou isto evidente. Empreendimento para a utilização de biomassa de forma ampla podem ter impactos ambientais inquietantes. O resultado poder ser destruição da fauna e da flora com extinção de certas espécies, contaminação do solo e

mananciais de água por uso de adubos e outros meios de defesa manejados inadequadamente. Por isso, o respeito à biodiversidade e a preocupação ambiental devem reger todo e qualquer intento de utilização de biomassa. (SANCHES, 2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades experimentais foram realizadas fora no laboratório da Etec, pois estávamos em momento de pandemia e as atividades ocorriam de forma remota, neste período aproveitamos para a construção e formatação da Caldeira caseira, com o auxílio do Sr. Antonio Silveira da Rocha, soldador (pai de um dos alunos) sob a orientação a distância dos professores Dr. Sérgio Delbianco Filho e Dra. Gislaine Ap. Barana Delbianco, seguindo os processos conforme demonstrados pela figura 13:

Figura 13: Fluxograma de atividades experimentais



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

4.1. Preparo das amostras dos derivados de resíduos celulósicos

A obtenção das amostras foi um processo relativamente simples. Para a produção de energia com a caldeira foram utilizadas folhas facilmente encontradas num bosque qualquer; além de, é claro, o bagaço de cana-de-açúcar que pode ser facilmente coletado com um vendedor de caldo de cana.

O modo em que as biomassas foram utilizadas foi na forma de briquetes, isto porque o uso deste traz consigo diversas vantagens como: ser um produto ecologicamente limpo, maior capacidade e eficiência de armazenamento, maior poder calorífico e resíduos de queima reduzidos.

Essas vantagens observadas podem ser confirmadas ao analisar diversas pesquisas sobre o caso como por exemplo o artigo científico de MARTINAZZO, ARAÚJO e TEODORO (2016), que afirma “os briquetes possuem no mínimo cinco vezes mais energia que os resíduos que os originaram” e “grande vantagem no que diz respeito à armazenagem de material, haja vista que com a briquetagem ocorre uma grande redução de volume do material”.

Para a produção do briquetes usados, utilizou-se de uma máquina de briquetes (figura 14) manufaturada pelo integrante Andrews e pelo integrante Bruno (pertencente ao grupo que executou a construção de um calorímetro) o que era consideravelmente mais eficiente do que uma produção manual e certamente mais ágil.

Figura 14: Máquina de briquetes.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Figura 15: Máquina de briquete produzida



Fonte: Arquivo pessoal, 2021

4.2 Construção da Caldeira Artesanal

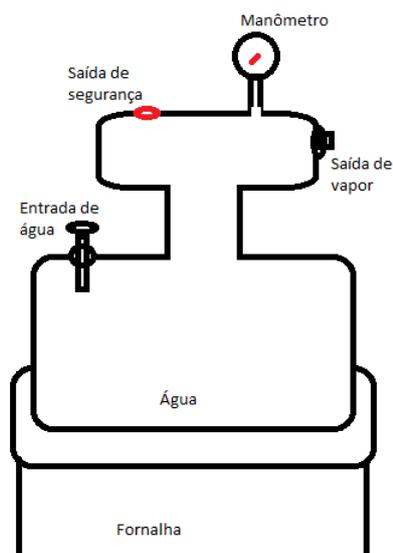
O processo de produção da caldeira artesanal e seus protótipos, foi baseado em projetos, sites, vídeos e no livro Processos e Operações Unitárias da Indústria Química foram. A produção da caldeira foi dividida em duas partes:

1° Parte - A obtenção dos materiais: A obtenção dos materiais necessários para a construção da caldeira se deu através do desmonte de peças de antigos eletrônicos presentes nas casas dos integrantes; diretamente comprados; emprestados; ou, até mesmo, dados pelo pai do integrante Anthony, que por trabalhar na área industrial poderia requisitar o acesso e uso dos mesmos.

2° Parte - Montagem da Caldeira: A montagem tanto da caldeira quanto de seus protótipos seguiu um modelo pré-estabelecido pelo Professor Coorientador Sergio Delbianco Filho, que disponibilizará os ditos modelos para que o integrante Anthony (com auxílio e supervisão de seu pai Antônio, experiente na área) possa montá-los em sua casa.

Para o início da construção da caldeira, projetou-se vários esboços do equipamento visando a utilidade, praticidade e simplicidade do mesmo (figura 16), além de conter todos os componentes básicos e essenciais exigidos pela NR-13 - a norma regulamentadora nº 13, cujo a qual segundo site SGS (2021), é referência em discussões pertinentes a caldeiras, vasos de pressão e tubulações.

Figura 16: Projeto de caldeira



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Para estudo prático da caldeira, desenvolveu-se dois protótipos (figura X) com base no projeto encaminhado pelo professor, que se assemelha ao projeto postado no blog Mini Usina Térmica.

1º Protótipo: Para a construção do mesmo, utilizando-se de um recipiente de frasco aerossol (desodorante) e uma /"bico" para saída de vapor, adaptada com peças sobressalentes e como combustível, utilizou-se velas.

Figura 17: Protótipo da caldeira



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

2º Protótipo: construção de uma caldeira de inox composta por uma tubulação do mesmo material destinada para a passagem de vapor e um reservatório de água também de inox, com a capacidade para 200 ml (figura 19).

Avançou-se com o projeto da caldeira soldando um registro para controle e acúmulo de vapor na mesma. Adicionou-se também por soldagem um manômetro, que segundo o blog Gallant (2020), é um instrumento que serve para medir a pressão exercida por um fluido em determinada superfície.

Figura 18: Início da construção da caldeira de inox



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Figura 19: Manômetro e registros soldados na caldeira.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

3° Protótipo: construção de uma caldeira de aço carbono, com uma fornalha para mais de 10 gramas de biomassa, reservatório de água para 500 ml, um manômetro e uma válvula para vazão de vapor (figura 18).

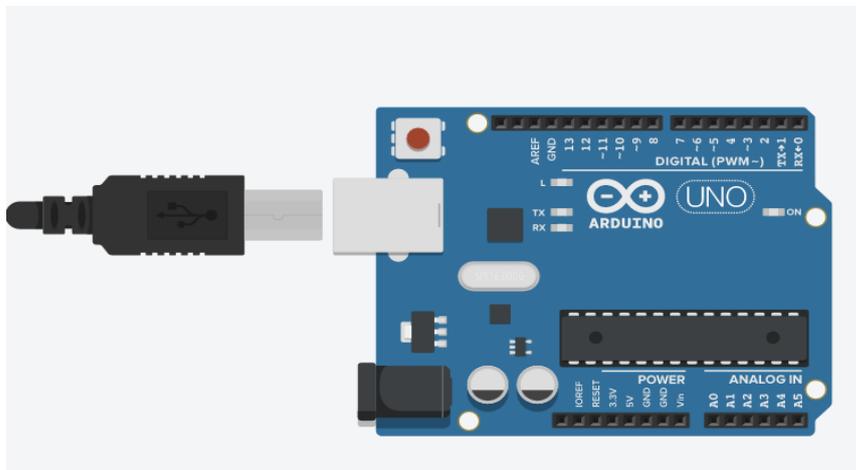
Figura 20: Caldeira de aço carbono (protótipo 3).



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Para análise dos gases que saem da caldeira, estudou-se a produção de um sensor feito com base em arduino - uma placa de prototipagem eletrônica de código aberto – (figura 20) no site simulador do TinkerCad, na qual um sensor de gás MQ – 135 (Figura 21) seria acoplado.

Figura 21: Placa de arduino UNO R3 no simulador do site tinkercad.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Figura 22: Sensor de gás MQ - 135



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

A placa de arduino seria ligada ao computador com o software do arduino (arduino IDE), na qual os códigos do software (figura 23) permitiriam a identificação dos gases presentes na saída da caldeira.

Figura 23: Códigos do software do arduino IDE

```
MQ-02 §
1 #include<Wire.h>
2 #include<LiquidCrystal_I2C.h>
3 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);
4
5 #define sensor 4
6
7
8
9 void setup() {
10   pinMode(sensor, INPUT);
11   lcd.begin(16, 2);
12   lcd.setBacklight(HIGH);
13
14 }
15
16 void loop() {
17   // put your main code here, to run repeatedly:
18
19 }
```

Fonte: Canal TDC, 2018.

4.3 Estudo da energia obtida através da Caldeira

Ao longo da realização do projeto, utilizaram-se diferentes ferramentas para a melhor compreensão e quantificação possível da energia proveniente da caldeira com os recursos disponíveis.

Assim sendo, o uso do cooler que gira vapor conta do vapor expelido pela caldeira, configura-se como apenas uma forma de constatar que há o potencial de uso elétrico com a aplicação profícua da caldeira.

Um desses ditos meios de constatação, é o manômetro, que segundo o blog GALLANT (2019), é um equipamento utilizado para medir a pressão de fluidos, tanto líquidos quanto gasosos.

A mais importante ferramenta por entender e conferir ao projeto da produção de vapor se baseia no Princípio de Bernoulli, que, estuda a equação dos da mecânica dos fluidos (equação 1). Princípio esse que presume a consideração de dois pontos quaisquer dentro de um fluido em movimento sob a ação de aceleração da gravidade. De acordo com o autor deve-se estar ciente do setor potencial, setor cinético e setor potencial gravitacional (TEIXEIRA, 2021).

$$p + dgh + \frac{dv^2}{2} \quad \text{eq. 1}$$

Onde:

p = Pressão (Energia potencial por unidade de volume);

dgh = Pressão hidrostática (Energia potencial gravitacional por unidade de volume);

dv = Pressão dinâmica;

Pode-se entender o Princípio de Bernoulli da seguinte forma: “dentro de um fluxo de fluido horizontal, pontos de velocidade de fluido mais alta terão menos pressão que pontos de velocidade de fluido mais baixa”. Então, dentro de um tubo de água horizontal que varia de diâmetro, as regiões nas quais a água está se movendo rápido terão menos pressão do que regiões nas quais a água está se movendo devagar. Neste sentido, quanto maior a velocidade menor será a pressão, quanto menor a velocidade maior será a pressão. (JÚNIOR; JÚNIOR; QUEIRÓZ, 2017).

Com relação a determinação do calor liberado na queima das biomassa e polímeros, utilizou-se a equação fundamental da calorimetria:, que segundo Teixeira

(2021), “o calor específico é uma característica de cada material e sua unidade de medida é cal/g.°C. Ele representa a quantidade de calor que deve ser fornecida para elevar em 1 grau Celsius cada 1g de uma substância. ”

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad \text{eq. 2}$$

Onde:

Q = Quantidade de calor (Q)

m = Corpo de Massa

c = Calor específico

Δt = Variação de temperatura

4.4 Ensaio de eficiência da biomassa

Como foram realizados dois tipos de biomassa (poliestireno e o bagaço de cana), utilizou-se o calorímetro (Figura 23) elaborado por Silva, Prado e Gentil (2021), onde trabalhamos em parceria.

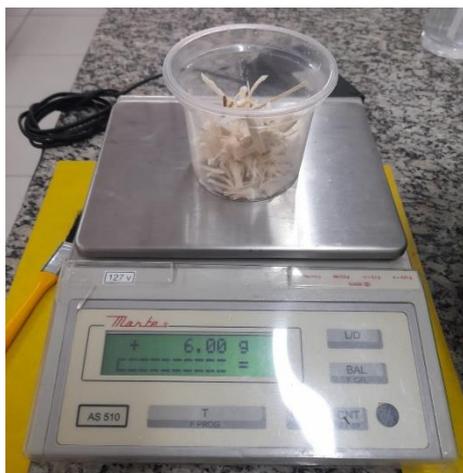
Figura 24: Calorímetro



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Com a intenção de adquirir mais dados a respeito das biomassas, realizaram-se testes feitos numa parceria com grupo to projeto de TCC “nome do projeto do bruno”. Posteriormente, pesou-se 6 gramas de bagaço de cana-de-açúcar (Figura 24) e 3 gramas de bagaço de bananeira seca (Figura 25).

Figura 25: Pesagem do bagaço de cana de açúcar



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 26: Pesagem do bagaço de bananeira seca



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Após a pesagem queimou-se as amostras com o uso de uma (inserir nome do equipamento usado) de modo a estudar as diferenças que surgirem nas mesmas.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Preparo das amostras de biomassa

Para a escolha dos resíduos utilizados como combustível na caldeira priorizou-se o uso de biomassas, principalmente o bagaço de cana (Tabela 1).

Tabela 1: Biomassas e seus dados pertinentes

Biomassa	Vazão Mássica (Kg/s)	Vazão Mássica (Kg/h)	Consumo diário (Kg/dia)	Valor mensal (R\$/mês)
Casca e Arroz	0,0273	98,28	393,12	8.648,64
Cavaco de Eucalipto	0,0210	75,60	3024,0	6.652,80
Lenha	0,0258	92,88	371,52	8.173,44
Bagaço de cana	0,0277	100,0	400,00	8.800,00

Fonte: REIS & KLUCK, 2021.

Tabela 2: Economia das diferentes biomassas.

Biomassa	Valor Unitário (R\$/Kg)	Valor Mensal (R\$/mês)
Casca de Arroz	R\$ 0,02	R\$ 172,97
Cavaco de Eucalipto	R\$ 0,0714	R\$ 475,00
Lenha	R\$ 0,1875	R\$ 1532,52
Bagaço de Cana	R\$ 0,00	R\$ 0,00

Fonte: REIS & KLUCK, 2021.

Observou-se que as biomassas apresentaram diferentes condições para seu uso, cada uma possuindo suas respectivas características e variáveis (Tabela 1 e Tabela 2).

O resíduo de principal foco que houve de ser utilizado foi o bagaço de cana tanto em sua forma natural quanto em briquete, e a sua eficiência foi em maior parte conforme o esperado. O bagaço de cana foi o que apresentou melhor resultado em sua análise, isto porque comparando seu custo e acessibilidade à sua eficiência e tendo em mente as vantagens do bagaço ele se prova ter grande poder calorífico e alta eficiência em relação ao seu custo.

Entretanto, alguma falha ocorreu na produção, uso ou análise da queima do briquete de bagaço de cana, pois o resultado esperado que seria de sua eficiência

ultrapassar a do bagaço em sua forma natural não se concretizou, pois demonstrou menor poder calorífico, aonde no teste em um calorímetro o bagaço de cana-de-açúcar liberou 6902,55 cal, já o bagaço de cana (briquete) 4725,8 cal; o que vai diretamente contra as pesquisas realizadas sobre o próprio briquete.

Tabela 3: Massa de biomassa e água utilizadas no calorímetro.

Combustível	Massa de água
Bagaço de cana-de-açúcar	255,65g
Folhas secas	240,34g
Folhas de bananeira seca	244,91g
Poliestireno	245,35g
Bagaço de cana (briquete)	236,29g

Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

5.2 Construção da caldeira artesanal

1º Protótipo: Após a construção do protótipo, testou-se a caldeira e verificou-se a saída de vapor do mesmo (figura 26), provando então a eficiência do projeto, porém não foi possível computar a quantidade de vapor que saía do protótipo.

Figura 27: Teste de vapor do protótipo



Saída de vapor do protótipo 1.

Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

2º Protótipo: Com o protótipo de inox (Figura 19), obteve-se um bom resultado porém não houve uma produção de vapor tão grande, o que segundo Lorenssetti (2020), pode-se explicar por:

- Pouco volume de combustível utilizado;
- Temperatura da água de alimentação – que não estará diretamente ligado à produção de energia, mas sim à quantidade de combustível utilizada, pois quanto mais fria estiver a água, mais combustível será necessário para produção de vapor;
- Vazão de gases da caldeira;

Defeitos nos processos de soldagem – Segundo o site SECAMAQ Soluções em Caldeiras (2018), caldeiras industriais são equipamentos que operam sempre com alta pressão, por isso as soldas precisam sempre estar em perfeitas condições para que não haja falhas em seu processo. Qualquer irregularidade durante a solda pode representar um defeito bastante sério que, em casos mais graves pode até ocasionar a explosão do equipamento. Na grande maioria das vezes, as juntas soldadas são as partes da caldeira que apresentam maiores problemas, já que são regiões cujo o metal apresenta menor resistência;

- Vazamento de água ou vapor - O vazamento de água ou vapor das caldeiras industriais representam os defeitos mais comuns deste tipo de equipamento, que podem ser ocasionadas por válvulas danificadas ou emperradas e tubos furados ou rachados, por exemplo. (SECAMAQ, 2021).

É necessário ressaltar que pôr o equipamento estar constantemente em contato com a água e ser feito de aço, está à mercê de sofrer por processos de corrosão.

De acordo com Fogaça (2021), a corrosão é um processo natural em que o metal é deteriorado por meio de reações de oxidorredução entre ele e agentes naturais, principalmente o oxigênio do ar. Ainda segundo a autora, a água acelera o processo de corrosão porque em sua presença formam-se íons que conduzem melhor os elétrons. Posteriormente, o $\text{Fe}(\text{OH})_2$ é oxidado formando a ferrugem: $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Segundo o site ABC Ferraz (, Diversos fatores podem resultar em um mal funcionamento da caldeira, sendo assim existem também vários tipos de corrosão. É possível reduzir esses danos usando uma pequena camada de magnetita nos componentes, pois ela protege o aço e impede o contato direto dos causadores da corrosão. Entretanto a magnetita é constantemente destruída com o tempo, principalmente por causa do choque térmico.

Ainda de acordo com o site, os principais tipos de corrosão existentes em caldeiras são:

- Corrosão salina, causada pela hidrólise de cloreto;
- Oxidação do ferro;
- Corrosão Caustica;
- Corrosão galvânica.

3° Protótipo: Para a construção deste protótipo, foi usado uma solda do tipo tig. A caldeira é feita de aço carbono, pois o mesmo tem o ponto de fusão acima de 1300 °C, portanto suporta o calor fornecido pela queima da biomassa.

Para que a combustão da biomassa fosse possível, na fornalha, construiu-se orifícios de 12 mm, para a entrada de oxigênio (figura 27).

Para a saída de vapor, incluiu-se uma válvula e um manômetro de extintor de incêndio (figura 28). Quando o manômetro indicava o nível de pressurização, a válvula era acionada.

Figura 28: Manômetro e registro.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Figura 29: Orifícios para a entrada de oxigênio.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

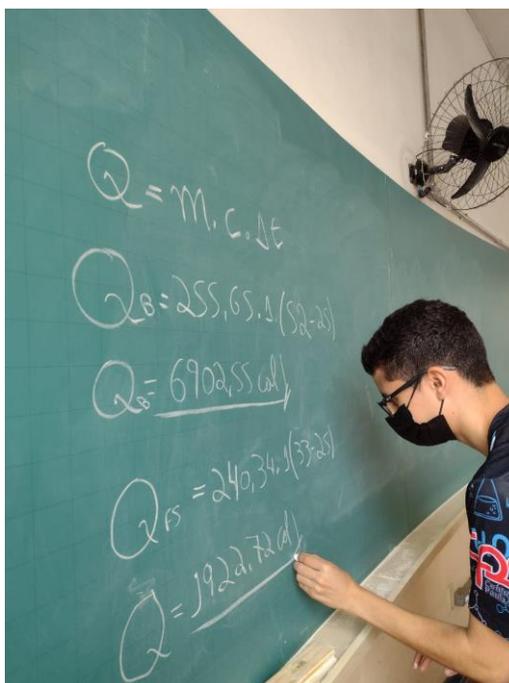
5.3. Estudo da energia obtida através da caldeira

Através do uso da fórmula $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 4: Calor liberado no teste do calorímetro.

Combustíveis Testados	Calor Liberado
Bagaço de cana-de-açúcar	6902,55 cal
Folhas Secas	1922,72 cal
Folhas de bananeira seca	3918,56 cal
Poliestireno	490,7 cal
Bagaço de cana (briquete)	4725,8 cal

Figura 30: Cálculos sendo realizados na ETEC.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Analisou-se pior resultado com o poliestireno, pois segundo Porto (2021), o mesmo é um polímero termoplástico, logo, permanece em estado sólido à temperatura ambiente, mas derrete quando aquecido a uma temperatura próxima a 100°C , sendo capaz de tornar-se rígido novamente quando resfriado.

O resíduo de principal foco que houve de ser utilizado foi o bagaço de cana tanto em sua forma natural quanto em briquete, e a sua eficiência foi em maior parte conforme o esperado. O bagaço de cana foi o que apresentou melhor resultado em sua análise, isto porque comparando seu custo e acessibilidade à sua eficiência e tendo em mente as

vantagens do bagaço ele se prova ter grande poder calorífico e alta eficiência em relação ao seu custo.

Entretanto, alguma falha ocorreu na produção, uso ou análise da queima do briquete de bagaço de cana, pois o resultado esperado que seria de sua eficiência ultrapassar a do bagaço em sua forma natural não se concretizou, pois demonstrou menor poder calorífico, aonde no teste em um calorímetro o bagaço de cana-de-açúcar liberou 6902,55 cal, já o bagaço de cana (briquete) 4725,8 cal; o que vai diretamente contra as pesquisas realizadas sobre o próprio briquete.

5.4 Ensaio de eficiência da biomassa

Pós-queima, os bagaços sofreram visíveis alterações em sua cor e peso. Sendo que, no caso do bagaço de bananeira seca, houve um decréscimo de 0,04 gramas em seu peso total, comparando-a com a figura 24 e 25, além de uma mudança em sua coloração (Figura 27).

Figura 31: Bagaço de bananeira seca (pós-queima)



Fonte: acervo pessoal, 2021.

De acordo com o site Cola da Web (2021), o fenômeno da diminuição da massa pós-combustão ocorre porque quase todos os produtos dessa dita combustão são gasosos e se dispersam na atmosfera.

Através da anterior afirmação, pode-se alcançar a conclusão do porquê houve a diminuição das massas do bagaço após suas respectivas combustões.

Paralelamente, essa mesma combustão faz com que seja provocada na amostra uma reação ao calor inerente à queima. Essa reação, devida a extensa quantidade de carbono presente na amostra, sintetiza uma camada de carvão no bagaço. De acordo com Galastri

(2010), os aminoácidos e os açúcares presentes começam a esquentar e eventualmente adquirem um tom completamente preto.

No dia 19 de Novembro, testou-se o calorímetro ao ar livre, porém não obteve-se um bom resultado por causa vento e chuva do dia.

Figura 32: Calorímetro testado ao ar livre.



Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Quanto à quantificação da saída de vapor da caldeira, obteve-se um melhor resultado com o protótipo 3. Para o cálculo da saída de vapor, utilizou-se a equação

$$\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{\Delta H}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right), \text{ onde:}$$

P1/P2: pressões de vapor às temperaturas T1 e T2;

ΔH = entalpia de vaporização do líquido (no caso do projeto água, com um valor de 40,65 J/mol;

R: conteúdo real ou gasoso (8,314 Kj/(K.mol));

T1= temperatura inicial;

T2: temperatura final.

Após o cálculos, verificou-se que do protótipo 3, obteve-se 0,012 bar de saída de vapor. Para o projeto, é um ótima alcance, levando em conta para maiores produções de energia, é necessário construir a caldeira em escala.

6. CONCLUSÃO

A realização do projeto em questão proporcionou diversas perspectivas sobre como abordar a construção de uma caldeira de baixo custo, e consigo trouxe múltiplas análises aos meios de produção de energia, seus combustíveis e como uma caldeira seria capaz de contribuir no progresso da implementação e uso de fontes de eletricidade limpa e de baixo custo, adjunto a suas dificuldades de execução, o projeto faz o uso e provê a compreensão de uma grande gama de técnicas e habilidades, como a utilização de diversos princípios da física, química e matemática, e competências como soldagem e mecânica.

Compreendendo os resultados, é constatado a possibilidade da manufatura da caldeira artesanal com materiais de fácil aquisição e baixo custo que possa utilizar biocombustíveis comuns e acessíveis que sejam eficientes na produção de vapor e conseqüentemente energia, como atestado, o próprio bagaço da cana-de-açúcar, um biocombustível de custo extremamente baixo que em sua produção limpa os resíduos de sua futura queima, por conseguinte gerando energia limpa em uma escala maior do que outros biocombustíveis assim compreendendo outro dos objetivos propostos.

A análise que se tira por conclusão do projeto é a de que a produção de vapor e energia é suficiente para satisfazer os objetivos propostos se provando eficiente, assim como a proposta de ser acessível para qualquer pequeno agricultor, deste modo satisfazendo os objetivos gerais e individuais do trabalho.

Para um futuro desenvolvimento e continuação deste projeto é primeiramente necessário compreender que a escala em que se trabalha a caldeira interfere intrinsecamente na produção de vapor e energia, sendo assim, a necessidade de uma maior quantidade de vapor necessita de que se trabalhe em escalas maiores tanto na montagem da caldeira quanto em técnicas e princípios que serão aplicadas nela, o que por sua vez a torna mais cara e menos acessível, além de que será mais difícil de se controlar e garantir a segurança do funcionamento da caldeira, pode se dizer que no caso de aprimoramento a orientação principal é trazer maior eficiência com pressões altas no tamanho atual fazendo o uso de materiais mais resistentes, constando a presença de válvulas de

segurança e manômetros para garantir a infalibilidade da caldeira, o que é de mesma importância quanto testar outros biocombustíveis para analisar diferentes oportunidades de um maior custo-benefício na produção da energia.

Portanto pode se concluir que o uso da caldeira artesanal que é construída a partir de diversos materiais reaproveitados e outros de baixo custo, permitiu a avaliação dos métodos mais adequados para a construção da própria caldeira, análises de diversas matrizes energéticas de resíduos celulósicos e a oportunidade de se entender quais trariam um desempenho apropriado gastando pouco, o que é essencial para pequenos agricultores que necessitam de energia com o adendo de ser renovável e limpa.

REFERÊNCIAS:

ABC. Corrosão em Caldeiras: Quais são as Mais Comuns e Como Prevenir; 2021. Disponível em: <https://abcferraz.com.br/>. Acesso em: 29 nov. 2021.

ABQ. Caracterização do bagaço da cana-de-açúcar; 2021. Disponível em: <http://www.abq.org.br>. Acesso em: 07 mar. 2021.

AGÊNCIA BRANDE. Tudo o que você precisa saber sobre caldeiras; 24 set. 2020. Disponível em: <https://xhmarbethlehem.com.br>. Acesso em: 12 mar. 2021.

APLA. Cana-de-açúcar impulsiona produção agropecuária em Piracicaba e Limeira; 13 maio. 2016. Disponível em: <http://www.apla.org.br/>. Acesso em: 06 mar. 2021.

Aplicações em Caldeiras Industriais; *Confor*. 2021. Disponível em: <https://www.confor.com.br>. Acesso em: 11 mar. 2021.

ARAÚJO, Nicole Lima de; MARTINAZZO, Ana Paula; TEODORO, Carlos Eduardo de Souza. **“PANORAMA DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BRIQUETES A PARTIR DE RESÍDUOS VEGETAIS”;** *Produtos Agroindustriais*. São Paulo. V. 18. 2016.

BEGA, Rodrigo Merighi. **Aplicação de cinza do bagaço de cana-de-açúcar em latossolo cultivado com cana-de-açúcar.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, p. 68. 2014.

BERNARDES, Júlio. **Cinza da cana-de-açúcar é transformada em sílica para indústrias;** *Jornal da USP*. 06 set. 2017. Disponível em: <https://jornal.usp.br>. Acesso em: 18 set. 2021.

BETAEDUCAÇÃO. **Classificação das caldeiras, vasos de pressão e tubulações;** 02 maio. 2015. Disponível em: <https://betaeducacao.com.br>. Acesso em: 18 ago. 2021.

Caldeira Aquatubular; *Rcwell*. 2021. Disponível em: <https://rcwell.com.br>. Acesso em: 11 mar. 2021.

Caldeira Industrial; *Mecânica Industrial*. 2021. Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br>. Acesso em: 10 mar. 2021.

Caldeira Mista; *Camposcal Caldeiras*. 2021. Disponível em: <https://www.camposcal.com.br>. Acesso em: 12 mar. 2021.

Caldeiras Mistas; *DuitDesign*. 2021. Disponível em: <https://duitdesign.com>. Acesso em: 12 mar. 2021.

CAMPOS, Liliane Pereira. **Aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar nos atributos químicos e biológicos do solo;** Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, p. 109. 2014.

Cana de açúcar: a cultura que potencializou o Brasil!; AGROPO.2020. Disponível em: <https://agropos.com.br>. Acesso em: 05 mar. 2021.

Cana de açúcar; NOVACANA. 2021. Disponível em: <https://www.novacana.com>. Acesso em: 05 Mar. 2021.

Cana-de-açúcar; ALMANAQUE DO CAMPO. 2021. Disponível em: <http://www.almanaquedocampo.com.br>. Acesso em: 07 mar. 2021.

DAROLT, M. R; OSAKI. F. **Efeito da cinza de caieira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes.** 1989, 33 p. In: *Calagem & Adubação*. Campinas, SP: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola -1991.

Diferenças entre caldeiras flamotubulares, aquatubulares e mistas; Multiagua. 2021. Disponível em: <https://multiagua.com.br>. Acesso em: 11 mar. 2021.

FOGAÇA, Jennifer. **Corrosão dos metais.** *Brasil Escola*. 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/>. Acesso em: 28 nov. 2021.

GALASTRI, Luciana. **Por que a comida queimada fica escura?;** *Hype Science*. 2 jun. 2010. Disponível em: <https://hypescience.com>. Acesso em: 27 nov. 2021.

GBTécnica,**Caldeiras;**2021. Disponível em: <https://www.gbtecnica.com.br>. Acesso em: 11 mar. 2021.

KASSINOFF, Flávia. **Uso do bagaço da cana abre novas possibilidades.** UNIFESP. 2021. Disponível em: <https://www.unifesp.br>. Acesso em: 05 mar. 2021.

LORENSETTI, Rodrigo. **A importância da caldeira a biomassa para a sustentabilidade;** 8 jul. 2021. Disponível em: <https://blog.coontrol.com.br>. Acesso em: 11 ago. 2021.

LORENSETTI, Rodrigo. **7 FATORES QUE INFLUENCIAM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM CALDEIRAS INDUSTRIAIS;** *Coontrol Tecnologia em Combustão*. 2020. Disponível em: <https://blog.coontrol.com.br/>. Acesso em: 28 nov. 2021.

MACÁRIO, Carol. **Crise energética no Brasil: o que mudou nos últimos 20 anos;** *Agência Lupa*. 19 jul. 2021. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br>. Acesso em: 18 ago. 2021.

MACHADO, Fulvio de Barros Pinheiro. **Brasil, a doce terra - História do Setor;** *Agência CNPTIA*. 2021. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 07 mar. 2021.

Mill Indústrias. **Caldeira à Biomassa: Você sabe como funciona?;** 19 nov. 2019. Disponível em: <https://www.mill.com.br>. Acesso em: 11 ago. 2021.

Mill Indústrias.**Como funciona uma caldeira flamotubular?;** 9 dez. 2020. Disponível em: <https://www.mill.com.br>. Acesso em: 11 mar. 2021.

NACHILUK, Katia. **Cana de açúcar: produção e processamento em 2019**; IEA. 11 out. 2020. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 07 mar. 2021.

O Agroeconômico. **A cana-de-açúcar no Brasil: do descobrimento à era moderna**; 23 jun. 2017. Disponível em: oagronomico.iac.sp.gov.br. Acesso em: 04 maio. 2021.

O Mundo das Leveduras. **Composição do Bagaço de Cana-de-açúcar**; 2012. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br>. Acesso em: 25 abr. 2021.

Os principais tipos de caldeiras; *Togawa Engenharia*. 30 set. 2020. Disponível em: <https://togawaengenharia.com.br>. Acesso em: 11 mar. 2021.

PAJOLLA, Murilo. **O que está por trás da crise energética que pode provocar um novo "apagão" no Brasil**; *Brasil de Fato*. 13 jul. 2021. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br>. Acesso em: 18 ago. 2021.

Previnsa. **Afinal, o que é NR-13? Entenda detalhes sobre essa norma!**; 24 out. 2020. Disponível em: previnsa.com.br. Acesso em: 08 maio. 2021.

Produção mundial de Cana-de-Açúcar; *YARA BRASIL*. 30 out. 2020. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/>. Acesso em: 07 Mar. 2021.

Propriedades do bagaço da cana. *REVISTA PESQUISA*. 2021. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br>. Acesso em: 07 Mar. 2021.

Quais os tipos de caldeiras a vapor e por que é importante fazer uma manutenção periódica?; *TSAmbientali*. 14 Fev. 2018. Disponível em: <http://www.tsambientali.com.br>. Acesso em: 11 Mar. 2021.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C. **Palhiço como fonte de energia**. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. *Cana-deaçúcar*. Campinas: IAC, 2010. Cap. 36, p. 791-808.

RUBENICH, Fábio. **Safras na Índia centram atenções no mercado**. *SAFRAS & MERCADO*. 21 fev. 2020. Disponível em: <https://www2.safras.com.br>. Acesso em: 07 mar. 2021.

RuralPecuária. **Produtores rurais sentem impactos dos aumentos das tarifas de energia elétrica**. 23 abr. 2020. Disponível em: <https://ruralpecuaria.com.br/>. Acesso em: 12 mar. 2021

SANCHES, Celso Berton. **Energia da Biomassa**; *FEIS*. 24 jul. 2015. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br>. Acesso em: 18 ago. 2021.

Secamaq. **Você precisa de uma caldeira industrial e não sabe escolher? Vamos ajudá-lo**; 8 ago. 2018. Disponível em: <https://www.secamaq.com.br>. Acesso em: 10. Mar. 2021.

SECAMAQ. **Causas de Defeitos Em Caldeiras Industriais**. *Secamaq*. 2018. Disponível em: <https://www.secamaq.com.br/>. Acesso em: 28 nov. 2021.

SINDITABACO. **“PEQUENO PRODUTOR, MAS COM UMA GRANDE IMPORTÂNCIA NA ECONOMIA”**; Disponível em: <http://www.sinditabaco.com.br>. Acesso em: 09 nov. 2021.

TEIXEIRA, Mariane Mendes. **Equação fundamental da calorimetria**; *Mundo Educação*. 2021. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br>. Acesso em: 27 nov. 2021

TEIXEIRA, Silvana. **Como aproveitar o bagaço da cana?**; *CPT*. 2021. Disponível em: <https://www.cpt.com.br>. Acesso em: 05 Mar. 2021.

UDOP. **A História da Cana-de-açúcar - Da Antiguidade aos Dias Atuais**; 01 jan. 2003. Disponível em: <https://www.udop.com.br>. Acesso em: 04 maio. 2021.