

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**MARINA SOUZA REZENDE**

**PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE RESÍDUOS**

**Varginha**

**2021**

**MARINA SOUZA REZENDE**

**PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE RESÍDUOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha**  
**2021**

**MARINA SOUZA REZENDE**

**PRODUÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE RESÍDUOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes

---

Prof.

---

Prof.

OBS:

## RESUMO

Este trabalho demonstra a produção de energia através de resíduos. Tal abordagem é devida ao fato que muitas cidades não possuem um destino adequado para os resíduos sólidos urbanos, desta forma, uma maneira de dar solução para um problema ambiental e ao mesmo tempo gerar energia, foi o desenvolvimento da usina. A finalidade deste trabalho é apresentar as etapas realizadas, no processo de conversão de energia através do lixo, analisar se o processo é realmente viável e verificar o destino final dos resíduos. Estes propósitos foram obtidos através de uma pesquisa bibliográfica. A pesquisa demonstrou que a implementação da usina trará vários benefícios tanto para o meio ambiente quanto para os municípios. Pontos como diminuição na emissão de metano, áreas destinadas a lixões serão transformadas em vegetação, além do custo da geração de energia, fatos que tornam esse meio uma fonte viável para implementação.

**Palavras-chave:** Transformação. Conversão de energia. Resíduos sólidos.

## **ABSTRACT**

This work demonstrates the production of energy through waste. Such approach is due to the fact that many cities do not have an adequate destination for urban solid waste, thus, a way to solve an environmental problem and, at the same time, generate energy, the development of the plant. The process of this work is to present the steps carried out in the process of energy conversion through waste, analyzing the process is really viable and verifying the final destination of the waste. These purposes were obtained through a bibliographical research. The research shows that the implementation of the plant will bring several benefits both for the environment and for the municipalities. Points such as a decrease in methane emission, areas unlocked from landfills will be transformed into vegetation, in addition to the cost of energy generation, facts that make this means a viable source for implementation.

**Keywords:** Transformation. Energy Conversion. Solid waste.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Descarte de Lixo em Local Inapropriado .....	9
<b>Figura 2</b> - Seleção de Recicláveis.....	11
<b>Figura 3</b> - Fluxograma do Processo de Trituração dos Resíduos .....	13
<b>Figura 4</b> - CDR Final.....	14
<b>Figura 5</b> - Processo de Pirólise .....	15
<b>Figura 6</b> - Reator em Funcionamento .....	16
<b>Figura 7</b> - Processo de Lavagem dos Gases .....	17
<b>Figura 8</b> - Processo de Combustão .....	18
<b>Figura 9</b> - Turbina De Geração de Energia .....	19
<b>Figura 10</b> - Levantamento de Dados .....	21
<b>Figura 11</b> - Tijolo feito a Base dos Resquícios.....	22

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**RSU** - Resíduos Sólidos Urbanos

**CDR** - Combustível Derivado de Resíduos

**IPCC** - Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima

**CH<sub>4</sub>** – Metano

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono

**CO** – Monóxido de Carbono

**H<sub>2</sub>** - Hidrogênio

**S** - Enxofre

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>ETAPAS DO PROCESSO</b>	<b>11</b>
2.1	Seleção do Lixo	11
2.2	Trituração	11
2.3	Secagem	13
2.4	Pirólise	14
2.5	Gaseificação	15
2.6	Lavagem dos Gases	17
2.7	Combustão	18
2.8	Conversão	19
<b>3</b>	<b>LEVANTAMENTO DE DADOS</b>	<b>20</b>
3.1	Dados Específicos	20
3.2	Avaliação de Custo e Benefício Geral	20
3.3	Impactos Ambientais	21
<b>4</b>	<b>DESTINO FINAL RESQUÍCIOS</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>24</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Um grande problema ambiental, enfrentado no país é a elevada geração de resíduos provocada pelo consumo excessivo de toda a população. Além disso, a infraestrutura sanitária brasileira, não consegue acompanhar o aumento contínuo das zonas urbanas, causando assim, o descarte do lixo de maneira desapropriada.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza, juntamente com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizou um estudo no ano de 2008, no qual, constou que o sistema de limpeza urbana coletava aproximadamente 149 mil toneladas de lixo ao dia. Esse mesmo estudo foi realizado também no ano de 2018, no qual, constatou que eram coletados 216 mil toneladas por dia. A pesquisa se evidenciou, pelo fato que nesse mesmo período o aumento de lixo foi de aproximadamente 45%, já o crescimento populacional aumentou apenas 25%.

O crescimento tecnológico das áreas, que tratam sobre uma destinação adequada ao resíduo sólido urbano, não acompanhou da mesma forma o percentual de criação de resíduos. Desta maneira, muitos resíduos gerados no país, não são regularmente coletados, principalmente nas áreas de baixa renda, no qual na maioria das vezes, esse lixo permanece junto às residências ou sendo descartados em terrenos baldios, estrada rural e cursos d'água (MONTEIRO, 2001). A figura 1, representa o descarte incorreto de lixo.

Figura 1 - Descarte de Lixo em Local Inapropriado



Fonte: Copyright, 2020.

A problemática da geração crescente e desenfreada de resíduos preocupa a maior parte dos países devido aos inerentes impactos ambientais negativos relacionados à acumulação de lixo. Sendo assim, uma solução que consiga ser definitiva em relação à acumulação de resíduos e ao mesmo tempo gerar energia, foi o desenvolvimento do projeto da usina que utiliza como combustível principal o RSU.

A usina possui três plantas principais, a primeira é a de processamento de RSU com produção de combustível derivado de resíduos, no qual, se inicia todo o processo para obtenção do produto final. A segunda é a térmica, etapa que ocorre a transformação do combustível sólido para o gasoso e por último a planta responsável pela geração de energia, transformando o combustível gasoso em potência.

Este trabalho tem como objetivo demonstrar como é feito o processo de conversão de energia, verificar a viabilidade do projeto e apontar o destino final dos resquícios após a finalização do processo.

Nos objetivos específicos do trabalho, destacam-se:

- Demonstrar o processo de conversão de energia;
- Verificar a viabilidade do projeto;
- Verificar o destino final dos resquícios;
- Identificar os impactos ambientais.

## 2 ETAPAS DO PROCESSO

### 2.1 Seleção do Lixo

Para Hauser (2006), a preliminar do processo é o recolhimento do lixo nas residências e o direcionamento dele para a usina. O primeiro ciclo consiste na separação manual dos recicláveis, etapa que não é obrigatória para a usina, pois ela consegue aproveitar todos os tipos de materiais com carbono (EPE, 2008). Porém, com o intuito de oferecer oportunidade de emprego, para as pessoas que possuem sua fonte de renda retirada dos lixões, esse passo foi implementado. A figura 2 mostra a coleta dos recicláveis após a entrada do lixo na usina.

Figura 2 - Seleção de Recicláveis



Fonte: Bueno, 2007.

Após a seleção, todo o restante do material é encaminhado através de esteiras para o sistema de trituração, no qual, será abordado no próximo item.

### 2.2 Trituração

Na fase de trituração o propósito da operação é a redução da granulometria do RSU, essa etapa auxilia na homogeneização e facilita a separação nas demais fases. Cada material

irá passar em um triturador específico para atingir a espessura necessária.<sup>1</sup>

Em torno de 70% do RSU não é aproveitado como combustível na geração de energia, visando que grande parte é composta por materiais recicláveis, água, cinzas e material inerte (NOGUEIRA, 2015). Os recicláveis são encaminhados para outras indústrias no qual são reaproveitados, a água é proveniente dos materiais orgânicos, a cinzas é a parte que resulta do processo de gaseificação e os inertes não possuem energia na composição, desta forma não agrega valor ao CDR.

No primeiro triturador, ocorre o rompimento dos sacos de lixo e o RSU sofre redução de tamanho, desta maneira, facilita a sua separação. Após essa etapa ocorre a retirada dos metais ferrosos, processo realizado em um dispositivo magnético com a contribuição de eletroímãs.

Em seguida a parte de RSU sem metais ferrosos é encaminhado para um separador de disco, no qual, será retirado a parte orgânica. Através de esteiras rolantes, essa parte do material é encaminhada para um secador, no qual é retirado a umidade e a outra parte não orgânica segue na linha passando para a separação por ar.

Essa etapa separa o material por densidade, ou seja, elementos com densidade inferior a  $75 \text{ kg/m}^3$  - leves, e superiores a  $450 \text{ kg/m}^3$  - pesados, a mistura que chega nesse equipamento tem densidade média de 100 a  $150 \text{ kg/m}^3$  e a fração que tem poder calorífero relevante é a fração leve, portanto nessa separação vidros e outros eventuais metais que não tenham sido separados serão definitivamente separados nesta etapa (NOGUEIRA, 2015).

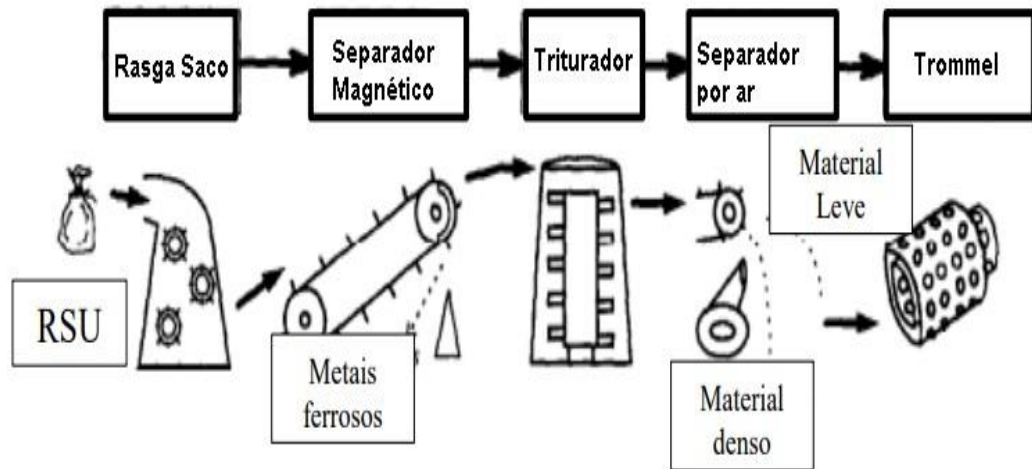
A parcela que continua na linha, a efetivamente combustível, segue para o último processo de redução de tamanho, a trituração secundária, e por fim o alumínio, que é danoso ao gaseificador, é retirado na última separação, na corrente de Foucault.

Ao fim da linha os seguintes materiais serão obtidos separadamente: CDR, metais ferrosos, alumínio, vidro, água e outros materiais inertes. Após esses processos descritos o RSU é transformado em CDR. Portanto, o material resultante dessa linha é o CDR, um material com alto poder calorífero e pronto para ser craqueado no gaseificador. O principal subproduto do processo é a água residual, que será tratada e reutilizada no processo. A figura 3, de forma ilustrativa, descreve os processos citados anteriormente.

---

<sup>1</sup> Informação verbal, obtida em uma palestra ministrada por Luciano Reis Infiesta, diretor da empresa Carbogás, em março de 2021.

Figura 3 - Fluxograma do Processo de Trituração dos Resíduos



Fonte: Chang, 1997.

Em seguida, para que seja possível utilizar o CDR ou até mesmo armazená-lo, ele deve passar pelo processo de secagem, no qual, será abordado a seguir.

### 2.3 Secagem

O processo de secagem é fundamental para que ocorra a retirada da umidade do resíduo e seja possível assim armazenar esse combustível antes de encaminhar para o reator.

O secador rotativo trabalha com variadas temperaturas, pois depende da umidade em que o material triturado chega ao secador, desta forma, quanto mais úmido, maior será a temperatura de operação.

Segundo Infiesta (2015, p.49) a secagem é a “evaporação da umidade presente no combustível, esta etapa pode ser descartada caso o combustível já entre no reator a baixa umidade (~8-20%)”.

No entanto, ao ficar armazenado, em alguns casos, o próprio ambiente é capaz de alterar o nível de umidade do material, desta forma, assim que o CDR entra no reator com um percentual de umidade superior, ocorre novamente a retirada da umidade dele (INFIESTA, 2015). A figura 4, exibe o CDR, já seco e armazenado antes de ir ao reator.



Figura 4 - CDR Final



Fonte: Veolia, 2021.

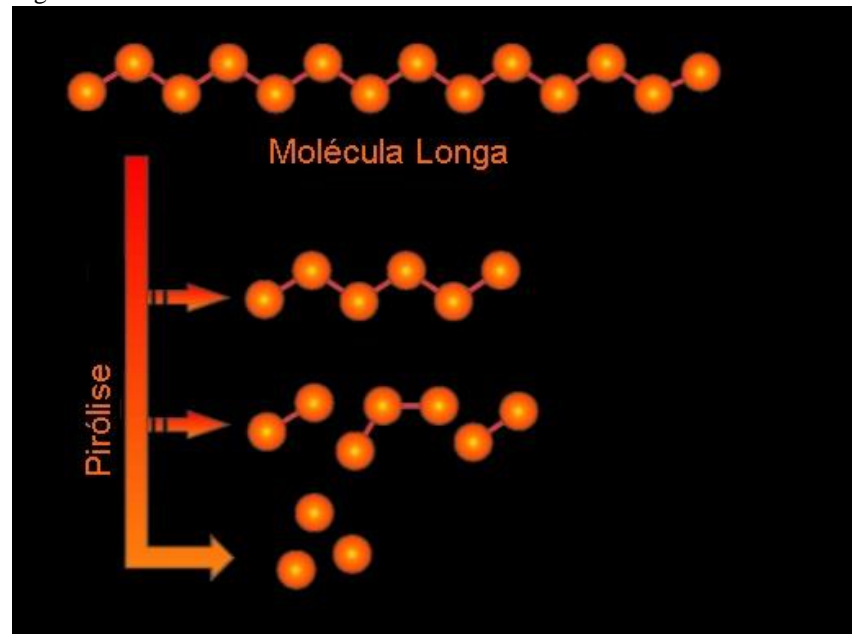
Com o CDR finalizado, se encerra a primeira etapa do processo e começa a segunda fase que ocorre no reator, no qual, sucedem várias reações, dando início com a pirólise.

## 2.4 Pirólise

A pirólise constitui-se na decomposição da matéria orgânica aquecida, na ausência de oxigênio atmosférico, no qual, o aquecimento é controlado por faixas de temperatura e fornece energia necessária para romper ligações nas estruturas das macromoléculas presentes na biomassa (DINIZ, 2005). No processo de pirólise ocorre a degradação da biomassa por meio do aquecimento, na qual ocorre a formação de três produtos, são eles: carvão, óleo e gás pirolítico, dependendo das condições no reator, um destes produtos pode ser maximizado (SANTOS, 2011).

Atualmente há três processos de pirólise no mundo, a lenta, rápida e a pirólise ultrarrápida. No Brasil, somente a partir da década de 90 começou-se a desenvolver novas tecnologias e equipamentos mais eficientes de pirólise lenta (FIGUEIREDO, 2011). A figura 5, demonstra como ocorre o processo de pirólise.

Figura 5 - Processo de Pirólise



Fonte: Coprocess, 2012.

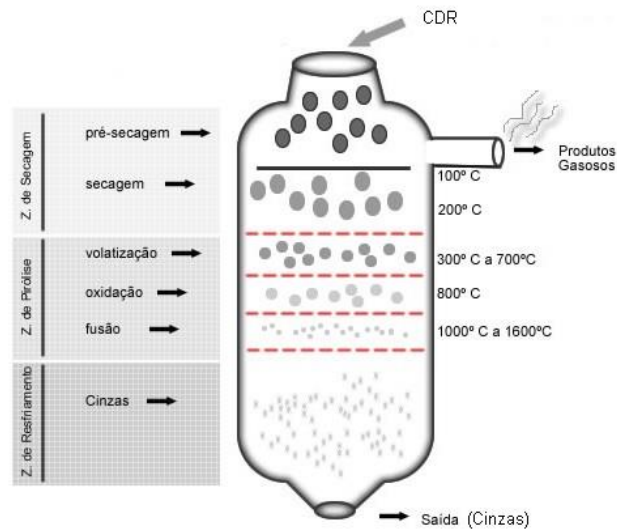
Finalizando a etapa da pirólise, as moléculas ficam separadas e em seguida se inicia o processo de gaseificação, no qual será apresentado no próximo tópico.

## 2.5 Gaseificação

Segundo Kothari et al. (2011), a gaseificação é o conjunto de reações que ocorrem no interior de um reator com a injeção de ar rarefeito e o CDR, por serem constituídos basicamente de carbono, amônia e hidrogênio. Um requisito para o processo é que a umidade máxima de 20% seja mantida para viabilizar a recuperação do calor, pois a água contida no CDR não serve para aproveitamento de energia, apenas para consumir a energia do gaseificador e usar como calor latente para transformar água em vapor.

Para que suceda a gaseificação em leito fluidizado, é necessário realizar a alimentação de CDR através do alto do reator e o fornecimento de ar e vapor pressurizado na parte inferior da câmara de combustão. Desta forma o oxigênio e o vapor, consegue manter o CDR em suspensão e constante ebulição para controle da queima como representado na figura 6.

Figura 6 - Reator em Funcionamento



Fonte: Adriano Leal, 2010.

O produto final do gaseificador é uma mistura de gases composta por metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), traços de enxofre (S), demais hidrocarbonetos e pequenas impurezas. As proporções dos gases podem variar de acordo com a temperatura, pressão, tempo de residência, características da matéria prima, tipo de reator e as características do ar rarefeito. O subproduto sólido gerado no processo são as cinzas, que não serão úteis na geração de energia, porém podem ser reaproveitadas de outra maneira (ROYA, FREITAS, 2011).

Contudo, a gaseificação pode ser resumida como modificação de materiais carbonados em gás combustível. Esse método é notável devido aos aspectos abaixo:

- Também pode ser chamada de combustão incompleta, pois o gás produzido será queimado em seguida na caldeira;
- O transporte do gás é mais fácil, pois, pode ser deslocado através de tubulações para grandes distâncias, sem obrigação de construção da usina no local de consumo;
- Controle facilitado;
- Combustão limpa, pois a grande parte das impurezas é retirada do gás por ciclones;
- Fácil mistura ar-combustível, tornando a combustão mais eficaz;
- Geração de energia como a queima no ciclo de Rankine.



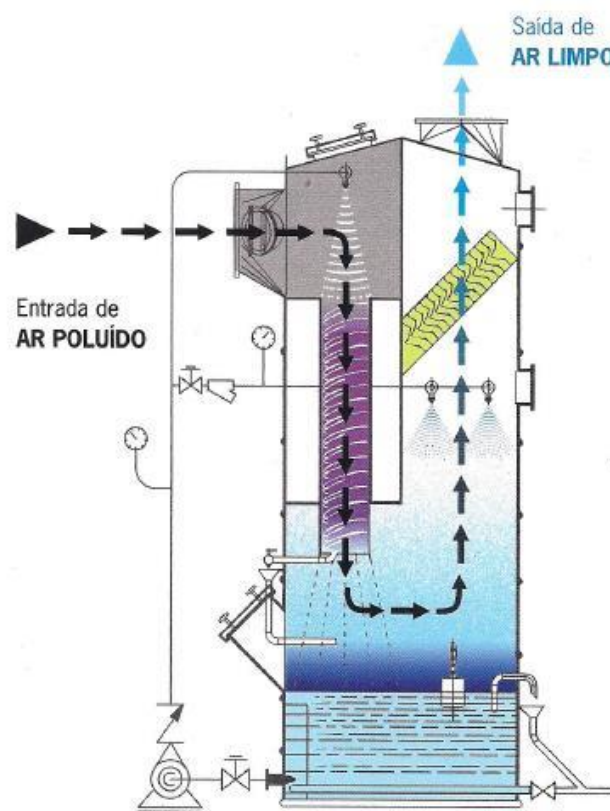
Assim que o gás é finalizado no reator, ele é encaminhado através de tubulações para o lavador de gases, tratado no item abaixo.

## 2.6 Lavagem dos Gases

A principal função da lavagem dos gases é limpar, neutralizar e diminuir a contaminação dos mesmos, desta forma, eles não se tornam nocivos ao meio ambiente e aos seres vivos.

Para a execução do processo, o gás flui do topo do reator por tubos equipados com limpadores mecânicos. Em seguida, esses limpadores injetam determinadas quantidades de água e reagentes que removem qualquer partícula sólida que não tenha sido processada, mas sim levada pelo fluxo do gás. Este é então resfriado por trocadores de calor para a temperatura requerida pelas máquinas de combustão interna<sup>2</sup>, representado através da figura 7.

Figura 7 - Processo de Lavagem dos Gases



Fonte: Belfano, 2020.

<sup>2</sup> Informação verbal, obtida em uma palestra ministrada por Luciano Reis Infiesta, diretor da empresa Carbogás, em março de 2021.

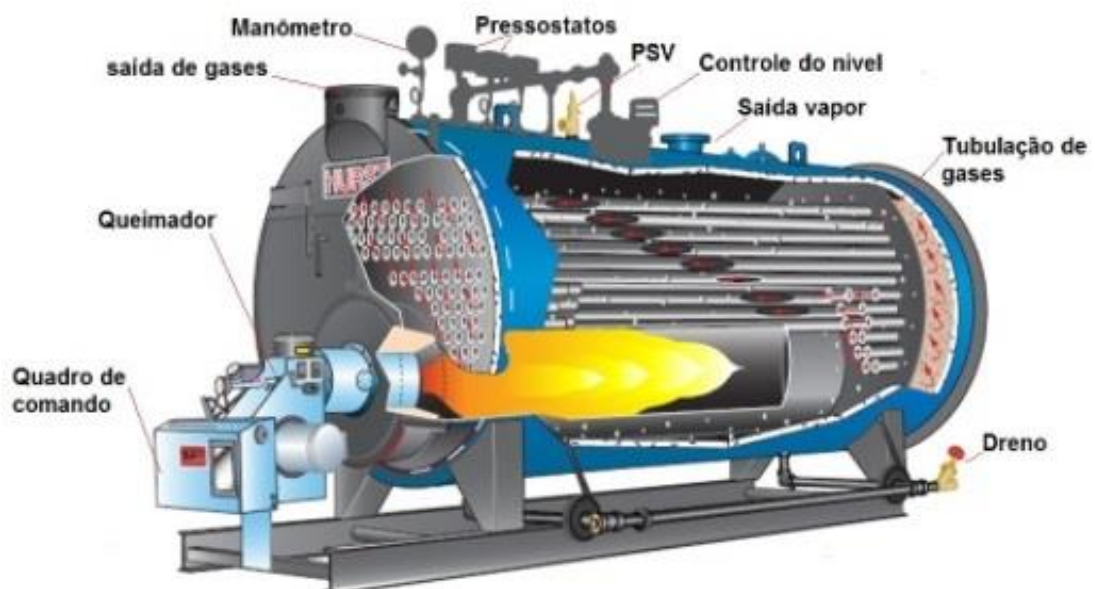
Na sequência, o gás ao sair do tanque de lavagem é conduzido até a caldeira, na qual irá ocorrer a combustão do sistema.

## 2.7 Combustão

Após a lavagem, os gases superaquecidos, totalmente carburados, são aspirados para o gerador de vapor, no qual, transferem energia, na forma de calor para a água é determinada parte passa para a fase gasosa, gerando pressão e sendo superaquecida para atender uma turbina a vapor.

Segundo Lopes (2014), do gerador de vapor os gases seguem para um economizador, que tem como objetivo recuperar parte da energia dos gases que não foi absorvida pelo gerador de vapor, transferindo-a para a água que irá alimentar o gerador de vapor. Após, os gases seguem para um pré- aquecedor de ar de combustão que, além de recuperar a última parcela viável de energia contida nos gases, também tem a função de aquecer o ar que será utilizado na combustão do gás de síntese, garantindo maiores temperaturas na queima. A figura 8, traz a ilustração de uma caldeira para melhor compreensão do contexto.

Figura 8 - Processo de Combustão



Fonte: Togawa, 2017.

Ao terminar o processo, o vapor superaquecido segue para a turbina, encarregada de realizar a conversão de energia.

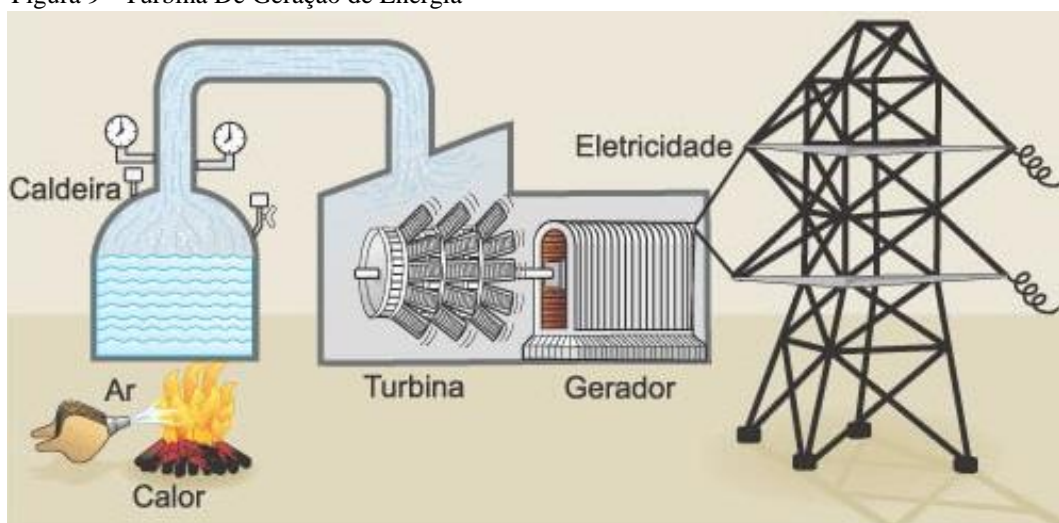
## 2.8 Conversão

Segundo Lopes (2014), “ao receber o vapor superaquecido, a turbina absorve uma fração da sua energia através de uma série de rotores, transformando a energia térmica em energia cinética. O vapor, após passar pela turbina, segue para os condensadores.

Novamente na fase líquida, a água retorna a um reservatório, acoplado ao desaerador de água nova, de onde bombas de alta pressão a forçam a passar pelo economizador e a injetam novamente no gerador de vapor. O eixo da turbina está ligado a um gerador que converte a energia cinética em energia elétrica, através da indução eletromagnética. Do gerador, a energia elétrica passa por transformadores para ajuste da tensão à rede de distribuição que a receberá.”

O vapor formado pela troca térmica dos feixes tubulares da caldeira com a água, é introduzido por meio de tubulação e válvulas a duas turbinas a vapor, acopladas aos seus respectivos geradores de baixa tensão. A energia produzida através do processo de rotação da turbina é injetada em uma subestação elevatória para ser conectada à rede de transmissão da concessionária local. Parte da energia produzida, retorna ao processo de gaseificação para alimentação dos motores, sopradores e etc (INFIESTA, 2015). A figura 9, esquematiza a conversão de energia.

Figura 9 - Turbina De Geração de Energia



Fonte: Copyright, 1997.

No próximo tópico será feito o levantamento de dados para que seja possível avaliar se a instalação da usina realmente é viável.

### **3 LEVANTAMENTO DE DADOS**

#### **3.1 Dados Específicos**

O presente trabalho, inicialmente, foi baseado no projeto de implementação da usina de conversão de energia que está em construção na cidade de Boa Esperança – MG. Para o desenvolvimento, houve participações em palestras explicativas e visita ao local, porém, devido a um desvio de verbas, a construção que previa funcionamento em agosto de 2021, está parada até o momento. Desta forma, não foi possível realizar o levantamento de dados específicos da usina de boa esperança e para dar continuidade ao estudo, foi utilizado dados gerais de usinas que possuem a mesma finalidade, que serão apresentados no próximo tópico.

#### **3.2 Avaliação de Custo e Benefício Geral**

Segundo Nogueira (2015), para avaliar o custo e benefício da instalação da usina deve-se levar em consideração vários fatores como o custo de manutenção, destinação final dos resquícios, seguro, valor do subproduto, investimento inicial, fator de capacidade energia, a taxa de juros SELIC, vida útil e a energia produzida.

Para o levantamento de dados, Nogueira levou em consideração duas circunstâncias, na qual o primeiro cenário, é a geração de energia recebendo 400 toneladas por dia de RSU, valor com referência a cinco municípios de médio porte, considerando assim que os municípios recebam o tratamento adequado do lixo e irão dividir entre eles os custos de investimento inicial. A escolha está de acordo com a geração média de lixo por habitante no Brasil, no caso 1,065 kg por dia.

A segunda situação será a geração de energia por meio da entrega de 1200 toneladas por dia de RSU, esse valor corresponde a geração de lixo de uma cidade grande como Belo Horizonte (1,433 milhões). Foi levantado também o período de recuperação do investimento, representados através da figura 10.

Figura 10 - Levantamento de Dados

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Unidade</b>
<b>Quantidade de RSU entregues diariamente</b>	400	1200	ton/dia
<b>Nº médio de habitantes geradores de RSU</b>	375 mil	1.100 milhões	-
<b>KWh produzido em um ano</b>	30.535.360,59	118.279.764,02	KWh/ano
<b>Custo de Manutenção</b>	\$891.255,26	\$1.219.731,75	US\$/ano
<b>Custo de Seguro</b>	\$29.478,43	\$83.522,21	US\$/ano
<b>Custo de Destinação</b>	\$94.447,44	\$283.342,32	US\$/ano
<b>Custo de Combustível</b>	-	-	US\$/ano
<b>Valor do Subproduto</b>	\$537.702,91	\$1.462.122,89	US\$/ano
<b>Investimento Inicial</b>	\$4.456.276,28	\$6.098.658,76	US\$
<b>Taxa de Juros</b>	14,15%	14,15%	-
<b>Vida Útil Efetiva</b>	15	15	Anos
<b>Custo / Benefício</b>	0,036287	0,008348	US\$/KWh
<b>Tempo de recuperação</b>	2,47	0,64	Anos

Fonte: Nogueira (2015)

Além dos dados financeiros, um aspecto importante a ser levantado é referente aos impactos ambientais, que serão discutidos abaixo.

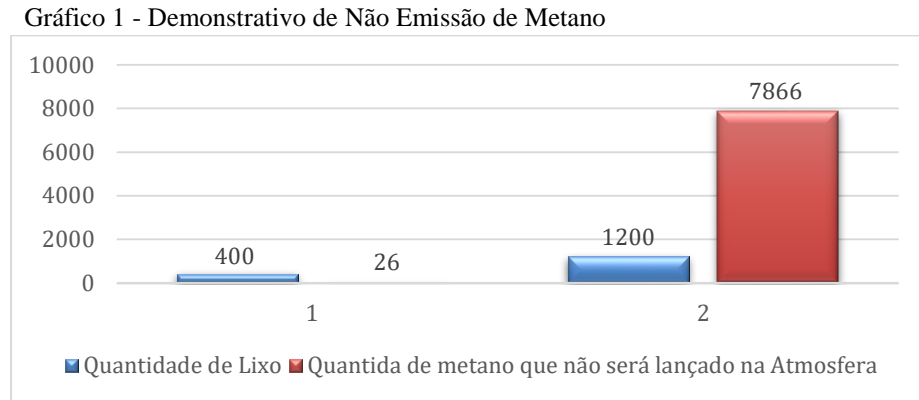
### 3.3 Impactos Ambientais

O descarte de lixo a céu aberto, causa grandes impactos ambientais, como contaminação do solo pelo chorume, contaminação das águas subterrâneas, mau cheiro, aumento de doenças, devido aos animais e vetores de doenças que são atraídos, além do grande índice de gases lançados na atmosfera.

Segundo Henriques et all, 2002: “Utilizando-se a metodologia do Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC), cuja abordagem para cálculo de metano é determinada a partir do teor de carbono emitido pelos resíduos, obtém-se que a cada tonelada de lixo, com a composição típica brasileira, emite-se 6,5% de metano. Isto significa que cada tonelada de lixo, disposta sem recuperação e tratamento do biogás, emite 1,3 toneladas de dióxido de carbono equivalente. ”

Segundo Nogueira (2015), com a implementação da usina de geração de energia através do lixo, a quantidade de metano que deixará de ser lançada no meio ambiente, para o primeiro

cenário é de 26 toneladas por dia, atingindo 9490 toneladas de CH<sub>4</sub> por ano. Para a segunda situação citada anteriormente, corresponde a 7866 toneladas por dia, sendo 28.470 toneladas de CH<sub>4</sub> por ano. A figura 11, retrata de forma visual os valores de metano que não seriam lançados na atmosfera.



Por fim, com intuito de finalizar a pesquisa, será explanado no próximo conteúdo sobre o destino final dos resquícios do reator.

#### 4 DESTINO FINAL RESQUÍCIOS

Ao fim de todo o processo, a parte sólida restante, a qual é chamada de resquícios ou cinzas, é retirada do reator. A quantidade deste material após o processo de incineração varia de 4 a 10% em volume do material original de entrada e é um material totalmente esterilizado e apto para ser destinado à construção civil, podendo ser transformado em tijolos, capeamento de estradas e utilizado em fábricas de cimento, na qual, são inseridas nos fornos de clínquer para substituição de matéria prima (CARVALHAES, 2013). A figura 12, mostra tijolos que foram fabricados a partir de resquícios.

Figura 11 - Tijolo feito a Base dos Resquícios



Fonte: O Autor

## 5 CONCLUSÃO

A pesquisa evidenciou vários pontos positivos referente a implementação da Usina de Geração de Energia Através do Lixo, destacando-se para a emissão de metano na atmosfera, pois, por mais que esse processo termoelétrico emita um pequeno percentual, a quantidade é bem inferior ao que seria lançado caso esse lixo permanecesse sem destinação adequada.

Além disso, os dados apresentados demonstraram um bom custo para o KWh, podendo ter retorno do investimento em um curto período, tornando assim a energia mais atraente para os municípios, que terão como benefício destino correto para o seu lixo e sua própria fonte de geração.

É oportuno ressaltar também, que a água retirada nos primeiros processos é tratada e reutilizada na caldeira e na lavagem dos gases, desta forma, o líquido que poderia virar chorume é tratado e consegue agregar valor ao processo.

Por fim, pode-se afirmar que a implementação da usina é viável para o meio ambiente e para os municípios, porém, como todo projeto, sempre deve-se buscar melhorias para agregar ao processo, visando sempre o aumento da eficiência e que não cause impactos ambientais.

## 6 REFERÊNCIAS

AHMED, I. I.; GUPTA, A. K. Pyrolysis and gasification of food waste: Syngas characteristics and char gasification kinetics. *Applied Energy*, v. 87, n. 1, p. 101- 108, 2010.

ANIS, S.; ZAINAL, Z. A. Tar reduction in biomass producer gas via mechanical, catalytic and thermal methods: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 5, p. 2355-2377, 2011.

ARANDA, G.; BALLESTEROS, R.; HERNÁNDEZ, J. J. Characterisation of tars from biomass gasification: Effect of the operating conditions. *Energy*, 2013.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Edição 2008. São Paulo – SP .

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Edição 2018. São Paulo – SP .

BAIND, R. L.; OVEREND, R. P.; CRAIG, K. R. Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. *Gaseificação para a geração de calor e eletricidade e a produção de metanol e hidrogênio*. Unicamp. Capítulo 9 pg 204-216, 2002.

BELFANO, Tecnoplástico. *Lavador de Gases Venturidro*. São Bernardo do Campo – SP. 2020. Disponível em: < <https://www.belfano.com.br/lavadores-colunas-co2/lavador-depurador-gases-venturidro/>> Acesso em 10 ago. 2021.

BLASI, C. D. Dynamic behaviour of stratified downdraft gasifiers. *Chemical Engineering Science*, v. 55, n. 15, p. 2931-2944, out, 2000.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. BIFANO, Hercules Marcello. *Operação de Caldeiras. Gerenciamento, controle e manutenção*. Blucher. São Paulo – SP, 2015.



BUENO, Ivan. Venda de recicláveis. Curitiba – PR. 2007. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/venda-de-reciclaveis-da-usina-do-ipcc-aumenta-30/12007> Acesso em 01 ago.2021.

CALLE, Frank Rosillo. ROTHMAN, Harry. BAJAY, Sergio V. Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. UNICAMP, 2005.

CARBOGAS. Resultados de testes práticos de gaseificação de resíduos sólidos urbanos, na planta piloto de 1 MWth. Mauá, 2014.

CARVALHAES, V. Análise do Potencial Energético de Resíduo Sólido Urbano para Conversão em Processos Termoquímicos de Gaseificação. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2013. Disponível em: <[https://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/16130/1/2013\\_ViniciusCarvalhaes.pdf](https://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/16130/1/2013_ViniciusCarvalhaes.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2021.

CENBIO. Estado da Arte da Gaseificação: Comparação entre tecnologias de gaseificação de biomassa existentes no Brasil e no exterior e formação de recursos humanos na Região Norte. São Paulo. Set, 2002.

ÇENGEL, Yunes A.; BOLES, Michael A. Termodinâmica. Mc Graw Hill. Porto Alegre, 2013.

CHANG, N. B. Evaluation of heat value and its prediction for refuse-derived fuel - Science of the total environment, 1997 – Elsevier

COPROCESS. Explicação química de pirólise. Canadá. 2012. Disponível em: <<https://www.coproprocess.ca/pirlise>> Acesso em 15 ago. 2021

COPYRIGHT. Descarte incorreto de lixo. Candiota –RS.2020. Disponível em: <<https://www.candiota.rs.gov.br/secretaria-de-meio-ambiente-intensifica-fiscalizacoes-de-descarte-incorreto-de-lixo> > Acesso em 07 jul. 2021.

COPYRIGHT. Material Pedagógico. 1997. Disponível em: <<https://jucienebertoldo.files.wordpress.com/2018/10/mpc-5c2ba-ano-professor.pdf>> Acesso em 07 jul. 2021.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. LORA, Electo Eduardo Silva. GÓMEZ, Edgardo Olivares. Biomassa para energia. Unicamp. São Paulo, 2011. Disponível em: <[https://issuu.com/editoraunicamp/docs/20pp-biomassa\\_para\\_energia2](https://issuu.com/editoraunicamp/docs/20pp-biomassa_para_energia2)>. Acesso em 18 mar. 2021.

DE OLIVEIRA, Eron Sardinha. Gaseificação da macaúba. UESB. Itapetininga – BA. nov, 2008. Disponível em: <<http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2017/04/ERON-SARDINHA.pdf>> Acesso em 18 abr. 2021.

DINIZ, Juraci. Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bio-óleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente. UFSM. Santa Maria - RS, jul. 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4152/Tese%20Juraci1.pdf>>. Acesso em 18 abr. 2021.

EPE. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Nota Técnica. Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mme\\_epe\\_aproveitamento\\_rsu\\_ms.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mme_epe_aproveitamento_rsu_ms.pdf)>

FIGUEIREDO, Aneliése Lunguinho. Pirólise termoquímica de pós de fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bio-óleo. UFRN. Natal – RN, jul.2011. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/12952/1/Pir%C3%B3liseTermoqu%C3%ADmicaP%C3%B3s\\_Figueiredo\\_2011.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/12952/1/Pir%C3%B3liseTermoqu%C3%ADmicaP%C3%B3s_Figueiredo_2011.pdf)>. Acesso em 18 abr. 2021.

GEROSA, Tatiana Magalhaes. Desenvolvimento e aplicação de ferramenta metodológica aplicável à identificação de rotas insumo-processo-produto para a produção de combustíveis e derivados sintéticos. USP. São Paulo, 2012.

HAUSER, P. D. Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto. UFRJ. Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: <<https://limpezapublica.com.br/textos/Dissertacao%20Philipp%20Hauser-incineracao%20e%20MDL.pdf>> Acesso em: 03 jun. 2021.

HENRIQUES, Rachel Martins. Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica. UFRJ. Rio de Janeiro – RJ. 2004. Disponível em: <<http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/rachelh.pdf>> Acesso em 28 set. 2021.

INFIESTA, Luciano Reis. Gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Vale do Paranapanema – Projeto Civap. USP. São Paulo-SP, 2015. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/364529223/Gaseificacao-de-Residuos-Solidos-Urbanos-Rsu-No-Vale-Do-Paranapanema-Projeto-Civap-Rev04>>. Acesso em 22 abr. 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2008. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=o-que-e>> Acesso em 05 jul. 2021.

KOTHARI, R.; SINGH, R.P.; TYAGI, V.V.; ALLEN, T; IBRAHIM, M. R. An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 4797-4808, 2011.

LEAL, Adriano. Pirólise. 2010. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/reacoes-quimicas/pirolise/>> Acesso em 07 ago. 2021.

LOPES, E. J. Desenvolvimento de sistema de gaseificação via análise de emissões atmosféricas. UFPR. Curitiba, 2014. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/37277/R%20-%20T%20-%20EVANDRO%20JOSE%20LOPES.pdf?sequence=3&isAllowed=y>> Acesso em 28 set. 2021.

LUCKE, Sérgio Augusto. O Resíduo Sólido Urbano como Fonte Renovável para Geração de Energia Elétrica: Aspectos Econômicos e Socioambientais. Unicamp. Campinas-SP, nov. 2012. Disponível em:  
<[http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258265/1/Lucke\\_SergioAugusto\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258265/1/Lucke_SergioAugusto_D.pdf)>. Acesso em 05 mar. 2021.

MARANHO, Alexander da Silva. Potencial de Geração de Energia Elétrica a Partir de Resíduos Sólidos Urbanos para Bauru e Região. UNESP. Bauru-SP, nov. 2008. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp076327.pdf>>. Acesso em 14 mar. 2021.

MONTEIRO, J. H. P. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MONTEIRO, J. H. P. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORAN, Michael J. SHAPIRO, Howard N. Princípios de Termodinâmica para Engenharia. LTC. 6ª Edição. Rio de Janeiro.

NOGUEIRA, Yanne Cardoso Troccoli. Vabilidade Tecnica e Economica de Usinas “WASTE-TO-ENERGY”. UNB, Brasilia-DF, 2015. Disponível em:  
<[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/14355/1/2015\\_YanneCardosoTroccolideNogueira.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/14355/1/2015_YanneCardosoTroccolideNogueira.pdf)>. Acesso em 25 ago. 2021.

OLIVEIRA, Luciano Bastos. Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil. COPPE, UFRJ. Rio de Janeiro, set. 2004. Disponível em: <<http://antigo.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/lboliveira.pdf>>. Acesso em 05 mar. 2021.

PALESTRA DE APRESENTAÇÃO DO PROJETO DA USINA DE BOA ESPERANÇA-MG. Mar 2021. Boa Esperança MG.

PAVAN, Margareth de Cassia Oliveira. Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. USP. São Paulo, nov. 2010. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10102011-120843/en.php>>. Acesso em 13 mar. 2021.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO, Sistema IBGE de Recuperação Automática, 2002

Potencial de geração de energia elétrica a partir do aproveitamento de resíduos sólidos. Brazilian Journal Of Development. Curitiba-PR. v.5, n.12, p.30092-30103, dez. 2019.

ROYA, B; FREITAS, E; BARROS, E; ANDRADE, F; PRAGANA, M. Biogás uma energia limpa. Revista Eletrônica Novo Enfoque, v. 13, n. 13, p. 142-149, 2011. Disponível em: <<http://biomassaworld.com.br/wp-content/uploads/2016/04/biogs.pdf>. > Acesso em: 03 jun. 2021.

SANTOS, Kássia Graciele. Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo. UFU. Uberlândia – MG, nov. 2011. Disponível em: <<http://clyde.dr.ufu.br/bitstream/123456789/15058/1/TeseParte1.pdf>>. Acesso em 18 abr. 2021.

SILVA, Fabiana Moraes. Biogás de Lixo no Aterro Sanitário de Gramacho. UFRJ. Rio de Janeiro, mar. 2015. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013773.pdf>> Acesso em 07 mar. 2021.

SOARES, Daniel H. Gaseificação de biomassa de médio e grande porte para geração de eletricidade: uma análise da situação atual no mundo. São Paulo, 2012.

SOBRINHO, Eder C. Silveira. Geração de Energia a Partir de Resíduos Sólidos Urbanos: Possibilidade de Receita para as cooperativas de Eletricidade. UNISUL. Florianópolis-SC, ago. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/12052>>. Acesso em 07 mar. 2021.

TOLMASQUIM, Mauricio T. Energia Termelétrica - Gás natural, biomassa, carvão, nuclear. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Copyright. 2016.

TOGAWA, Engenharia. Partes que compõem uma caldeira. 2018. Disponível em:<  
<http://togawaengenharia.com.br/partes-que-compoem-uma-caldeira/>> Acesso em: 05 ago.  
2021.

VEOLIA, Resourcing the world. Combustíveis derivados de resíduos. Portugal. 2021.  
Disponível em: <<https://www.veolia.pt/solucoes/combustivel-derivado-de-residuos#no-back>>  
Acesso em 25 ago. 2021.