
CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST¹
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
VALDIR DO ROSÁRIO DUARTE

TCC:
VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA APARTIR RESÍDUOS SÓLIDOS

LAGES
2020

¹ Os argumentos e estrutura do TCC estão nos passos metodológicos do livro de metodologia, p.44 a p.53: RODRIGUES, Renato. Gonçalves, José Correa. **Procedimento de metodologia científica**. 9.ed. Lages, SC. PAPERVEST. 2020. Disponível em Material Acadêmico UNIFACVEST, Biblioteca Física UNIFACVEST ou prpe@unifacvest.edu.br.

VALDIR DO ROSÁRIO DUARTE

**TCC:
VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA APARTIR RESÍDUOS SÓLIDOS**

Relatório de TCC apresentado ao
Centro Universitário UNIFACVEST,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Prof.(a) Orientador (a):
Franciéli Lima de Sá Biasiolo.
Coordenador do Curso:
Franciéli Lima de Sá Biasiolo.

LAGES
2020

TCC:
VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Relatório de TCC apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof.(a) Orientador(a):
Francieli Lima de Sá Biasiolo.
Coordenador do Curso:
Francieli Lima de Sá Biasiolo.

Lages, SC 08/07/2020 Nota 9,0 Francieli Lima de Sá Biasiolo
(data de aprovação) (assinatura do orientador- assinatura-digital ou scanner)

Francieli Lima de Sá Biasiolo
(coordenador do curso de graduação, nome e assinatura-digital ou scanner)

Artigo apresentado ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Valdir do Rosário Duarte

NOME DO ALUNO

Viabilidade da geração de Energia

Elétrica a partir de Resíduos Sólidos

TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Eng. Eletricista Francieli Lima de Sá Biasido

Titulação e nome do Orientador (a)

Msc Eng. Eletricista Silvio Moraes de Oliveira

Titulação e nome do Avaliador (a).

Msc. Eng. Nathiella Waldregus Branco-

Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá Biasido

Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 08 de julho de 2020.

VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA APARTIR RESÍDUOS SÓLIDOS

VALDIR DO ROSÁRIO DUARTE

RESUMO

A destinação final dos resíduos sólidos urbanos é sempre uma questão delicada para a maioria dos municípios brasileiros. O sistema historicamente utilizado de vazadouros de lixões a céu aberto além de impactar gravemente o meio ambiente através da contaminação do solo, da atmosfera e do lençol freático ainda traz problemas à população. Lages é a única cidade da região Serrana Catarinense que ainda não tem o Plano Municipal de Resíduos Sólidos, que inclui tratamento e reciclagem do lixo, conforme determina a Lei Federal 12.305, de 2 de agosto de 2010. A geração de eletricidade através da incineração se baseia na produção de gases pela combustão dos RSU, gases esses que estão em elevada temperatura e são capazes de vaporizar a água para movimentar turbinas a vapor.

Palavras –chaves: Energia elétrica; Incineração; Resíduos sólidos.

ABSTRACT

The final destination of solid urban waste is always a delicate issue for most Brazilian municipalities. The historically used system of drains (open dumps) in addition to seriously impacting the environment through contamination of the soil, the atmosphere and the water table still poses problems to the population.

Lages is the only city in the Serrana Catarinense region that does not yet have the Municipal Solid Waste Plan, which includes waste treatment and recycling, as determined by Federal Law 12,305, of August 2, 2010.

The generation of electricity through incineration is based on the production of gases by the combustion of MSW, gases that are at a high temperature and are capable of vaporizing water to drive steam turbines.

Key words: Electric power; Incineration; Solid waste.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao suprimento limitado de fontes de energia fóssil primária, a demanda crescente global de energia não pode ser coberta na forma atual em longo prazo. Paralelamente, com esforços intensos para aumentar a eficiência energética e realizar economia de energia, torna-se imperativo utilizar todas as fontes disponíveis de energia que ajudem a conservar os recursos limitados, que sejam ecologicamente boas e que contribuam à proteção do clima. Isso também se aplica as correntes de resíduos de alto poder calorífico. O setor de resíduos já está realizando contribuições relevantes para o suprimento de energia.

A incineração de resíduos não biodegradáveis é atualmente empregada em diversos países, principalmente os que não detêm muito espaço físico, como forma de reduzir o volume a ser destinado para deposição em aterros. É utilizada principalmente nos países nórdicos como forma de gerar aquecimento e eletricidade (RUSSO, 2003).

O processo de incineração se baseia no uso de fornos a alta temperatura que promove a combustão completa dos resíduos, garantindo tratamento sanitário e destruição de componentes orgânicos, o que também minimiza a presença de resíduos combustíveis nas cinzas geradas ao final do processo (MORGADO et al., 2006).

Essas cinzas são geralmente encaminhadas para aterros, porém estudos já comprovaram a possibilidade de incorporação delas como matéria-prima na confecção de cerâmicos em até certas porcentagens sem alteração do comportamento mecânico dos mesmos (NASCIMENTO et al., 2000; COUTINHO et al., 2016).

Em relação às questões ambientais, as incineradoras podem enfrentar certa resistência pelo fato da queima de resíduos sólidos urbanos (RSU) emitir substâncias perigosas como dioxinas, furanos e ácidos (RUSSO, 2003).

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 – PNE, a demanda de energia elétrica no país tende a aumentar nos próximos anos, acompanhando as projeções de crescimentos em outras áreas, em um cenário de menor crescimento cerca de 3,5% a.a. e no cenário de maior 5,1% a.a. isso representa que o país precisará gerar muito mais energia em um futuro próximo (EPE 2014).

Com a decomposição de resíduos orgânicos é produzido o metano (CH₄), um gás tóxico incolor e inodoro, que contribui para o aumento do efeito estufa no planeta. No entanto, o metano é matéria prima para a produção do biogás nas Usinas

Termoelétricas, sendo uma boa alternativa de fonte renovável. O uso do biogás colabora com a não dependência de fonte de energia fóssil aumenta a oferta e possibilita a geração descentralizada de energia elétrica e próxima aos centros de carga, promove economia no processo de tratamento do lixo urbano.

A geração de eletricidade através da incineração se baseia na produção de gases pela combustão dos RSU, gases esses que estão em elevada temperatura e são capazes de vaporizar a água para movimentar turbinas a vapor (Ciclo Rankine). Na Alemanha, a usina de Schwandorf1 incinera 23 toneladas de resíduos por hora em apenas uma de suas caldeiras e dessa forma é capaz de gerar energia elétrica para abastecimento da rede pública da cidade (ZMS, 2014).

Estimativas prudentes assumem que a utilização de resíduos para produzir energia economiza, em média, uma quantidade de combustíveis fósseis correspondente às necessidades de aproximadamente 700.000 pessoas. A incineração de aproximadamente 2 kg de resíduos domésticos com um poder calorífico de aproximadamente 8.000 Kj /kg pode produzir 1 kWh de potência. Essa energia pode manter acesa uma lâmpada de 40 watts por aproximadamente 25 horas. A quantidade de energia em um tambor de lixo doméstico de 60 litros bem cheio pode deixar essa lâmpada acesa por quase uma semana.

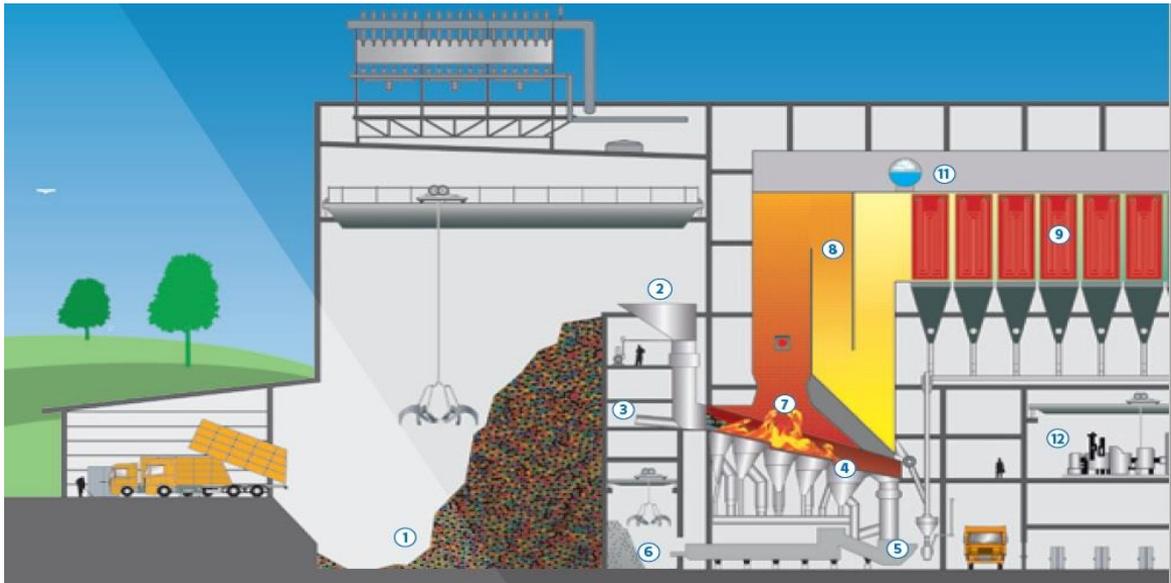
2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Na Figura 1 está apresentado o processo de incineração de resíduos sólidos urbanos, desde o depósito do lixo até a etapa do aquecimento da temperatura específica e o vapor é conduzido até a turbina, onde estão apresentadas as seguintes etapas:

Depósito de resíduos: O resíduo coletado é descarregado em um depósito para resíduo **1**, e homogeneizado pelo guindaste. O guindaste posteriormente transporta essa mistura à tremonha de alimentação **2**. Pela canaleta, o resíduo chega ao alimentador **3** que leva o resíduo às grelhas de combustão, de acordo com os requisitos de controle de queima.

Grelhas Móveis: O processo de incineração de resíduos ocorre nas grelhas Móveis **4** que são constituídas por fileiras de barras, uma ao lado da outra. As fileiras de barras das grelhas são dispostas uma sobrepondo-se à outra. De forma contínua e alternada se movimentam para frente e para trás. O resíduo e, posteriormente a escória, são transportados por essas fileiras até o fim das grelhas, onde a escória é depositada dentro do extrator de escória **5**.

Figura 1: Processo de incineração de resíduos – limpo e seguro.



Fonte: Fisia Babcock Environment – inovadora e global(2020).

- | | |
|---------------------------------------|------------------------|
| 1-Depósito de resíduo; | 8-Evaporador; |
| 2-Tremonha de alimentação de resíduo; | 9-Superaquecedor; |
| 3-Alimentador; | 10-Economizador; |
| 4-Grelhas Móveis; | 11-Tambor da caldeira; |
| 5-Extrator de escória; | 12-Turbina. |
| 6-Depósito de escória; | |
| 7-Fogo na grelha; | |

Extrator de escória: O extrator de escória **5** está parcialmente cheio de água, resultando na exclusão do ar entre o meio ambiente e a caldeira. A escória após as grelhas, é resfriada com água e encaminhada pela haste do extrator a um transportador vibratório que a leva ao depósito de escória **6**.

Fogo nas grelhas: Os operadores da usina monitoram o processo de incineração nas grelhas **7** com o circuito fechado de televisão(CFTV). O ar primário necessário para a incineração é suprido controladamente através das grelhas. Para obter uma queima ótima dos gases de combustão, ar adicional (ar secundário) é injetado acima das grelhas. Na caldeira, os gases de combustão quente são então resfriados até a temperatura desejada de saída dos gases de combustão.

Caldeira: O calor dos gases de combustão é utilizado para aquecer a água desmineralizada nas superfícies de aquecimento do economizador **10**. Água de alimentação da caldeira é então encaminhada ao tambor **11** que alimenta o evaporador operado por circulação natural. A mistura de água e vapor, que surge na radiação das

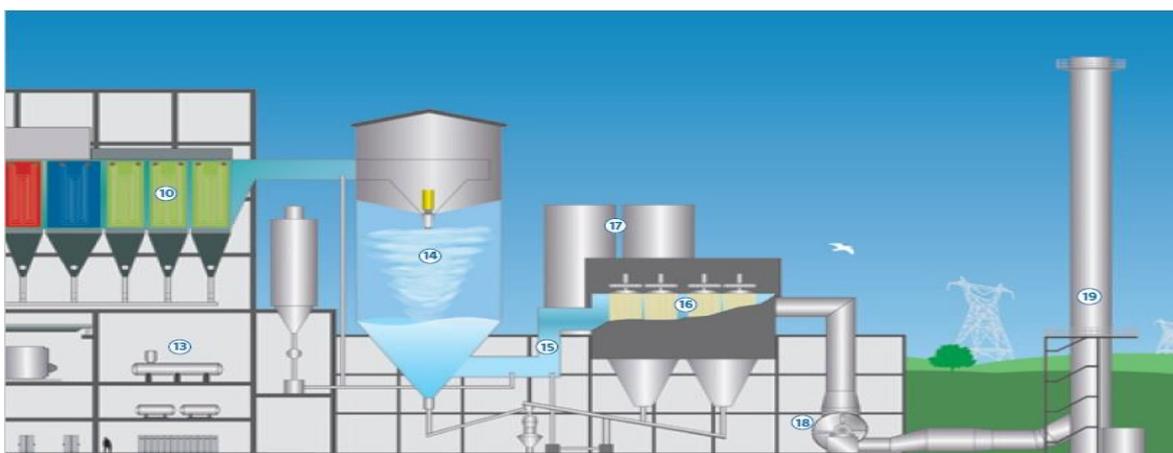
paredes da caldeira (evaporador) **8**, é separada no tambor, tornando-se água e vapor **11**. O vapor é levado às superfícies de aquecimento do superaquecedor **9**. Depois de aquecido à uma temperatura específica, o vapor é conduzido até a turbina **12**.

A partir da análise da Figura 2, o condensado é coletado no tanque de água de alimentação e retorna finalmente à caldeira, e os gases de combustão são limpos e saem do processo para a atmosfera por meio da chaminé, no qual estão apresentadas as seguintes etapas:

Turbina: Dentro da turbina **12**, o vapor superaquecido aciona o rotor da mesma que logo após é condensado. A energia liberada durante esse processo é utilizada no gerador acoplado para produzir eletricidade. A eletricidade é distribuída à rede pública. O condensado é coletado no tanque de água de alimentação **13** e retorna finalmente à caldeira.

Absorvedor do tipo “Spray dryer”: Na parte superior do absorvedor **14**, água e leite de cal são injetados nos gases de combustão da caldeira. Ao descer pelo absorvedor o resfriamento dos gases de combustão atinge a condição ótima de reação para absorver os poluentes ácidos. Após o resfriamento os gases são recirculados (produtos de reação separados no filtro de manga), reagente seco novo e carvão ativado são injetados no reator de fluxo forçado **15**.

Figura 2: Processos de incineração de resíduos sólidos urbanos parte final.



Fonte: Fisica Babcock Environment – inovadora e global(2020).

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| 13-Tanque de água de alimentação; | 18-Ventilador ID; |
| 14-Absorvedor do tipo “spray dryer”; | 19-Chaminé. |
| 15-Reator de fluxo; | |
| 16-Filtro de manga; | |
| 17-Silos; | |

Filtro de manga: Os poluentes ainda contidos nos gases de combustão reagem quimicamente ou são adsorvidos pelos sólidos e depois precipitados com as partículas de cinzas volantes nas mangas do filtro **16**. Como um meio de filtragem, as mangas do filtro garantem que os gases de combustão filtrados cumpram com segurança a todos os requisitos ambientais e legais. Um alto percentual de produtos de reação é recirculado a montante do filtro de mangas. O material recirculado pode ser umedecido para aperfeiçoar a utilização dos materiais de alimentação. Um fluxo parcial de produtos de reação é continuamente descarregado e transportado a silos **17** para eliminação.

Ventilador: O ventilador **18** mantém a pressão baixa no processo de incineração e conduz os gases de combustão através da caldeira e do sistema de limpeza de gases. A pressão baixa garante também a hermeticidade relativa dos gases de combustão.

Chaminé: Os gases de combustão limpos saem do processo para a atmosfera por meio da chaminé **19**. Para melhorar a eficiência, são instalados mais trocadores de calor de condensação nas usinas de incineração de resíduos. Isso significa que um vapor de água limpo e puro é expelido pela chaminé, na forma de fumaça branca que se dissolve – um sinal de utilização ótima de energia.

A partir da análise da Figura 3, as grelhas móveis são o componente central de uma usina incineradora de resíduos. Seja ela resfriada a ar ou a água, essas grelhas móveis realizam a incrível transformação de resíduos em energia.

As grelhas móveis são o componente central de uma usina incineradora de resíduos. Seja ela resfriada a ar ou a água, essas grelhas móveis realizam a incrível transformação de resíduos em energia. Em movimento constante, leva o resíduo inserido através de diversas fases da incineração – da secagem na parte anterior das grelhas, até a principal zona de combustão, no centro das grelhas, e à queima de escória, na parte final das grelhas. As grelhas tem uma construção modular. Assim sendo, o tamanho otimizado das grelhas pode ser obtido para cada aplicação “caso a caso”. O espectro de combustíveis varia de resíduo doméstico com alto nível de umidade até plásticos com alto poder calorífico.

O tratamento térmico utiliza também a energia contida nos resíduos, para produzir energia e calor – outro passo para reduzir a pressão sobre o meio ambiente. Dessa maneira, os combustíveis fósseis danosos, tais como o gás natural, petróleo e carvão podem ser substituídos por uma alternativa limpa. Os modernos sistemas de tratamento térmico garantem uma produção de energia ecológica, eficiente e voltada para o futuro tratamento de nossos resíduos.

Figura 3: Tecnologia de grelhas móveis da Fisia Babcock - sempre sob fogo.



Fonte: Fisia Babcock Environment – inovadora e global (2020).

As cinzas, cerca de 8% liberadas após o tratamento térmico dos RSU podem ser utilizadas pela indústria da construção civil na confecção de tijolos, sendo adicionado 15% de cimento para a confecção dos tijolos, isso poderá gerar a quantidade suficiente para uma casa de 50m² diários, e o tratamento dos gases é feito em um sistema fechado, o que evita a geração de efluentes líquidos.

3- ESTUDOS DE CASOS

3.1 - Estudo de caso existente na literatura

Diversos países no mundo todo, principalmente na Europa, têm adotado medidas de destinação dos resíduos alternativas, de maneira a diminuir a quantidade do que deve ser enterrado e, algumas delas, ainda contam com a possibilidade de gerar energia elétrica.

É o caso do processo denominado “**USINAVERDE**” desenvolvido pela empresa de mesmo nome em parceria com a COPPETEC (Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos) da COPPE/UFRJ, e que permite a triagem, tratamento térmico e geração de energia elétrica a partir dos resíduos sólidos urbanos que antes eram destinados ao Aterro de Gramacho, Duque de Caxias, (RJ).

O sistema, desenvolvido totalmente com tecnologias nacionais, se baseia em métodos já bastante difundidos na Europa para tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com recuperação de energia, porém com um custo até 50% menor do que os métodos importados. Desta forma, é possível tratar os resíduos, diminuindo seu volume e peso (em cerca de 90%) e ainda produzir energia equivalente ao necessário para alimentar uma comunidade de 13.300

residências (Considerando-se um consumo médio residencial de 140 KWh/mês e um módulo de tratamento de 150 ton/dia de Resíduos Sólidos Urbanos – USINAVERDE – Módulos Comerciais). Em funcionamento desde 2004.

Com intuito de viabilizar o empreendimento para empresas e municípios a USINAVERDE, que tem como objetivo licenciar sua tecnologia patenteada para os empreendedores, sugere a adoção de módulos com capacidade para o tratamento térmico de 150 ton/dia de lixo, com uma geração efetiva de energia elétrica de 3,2 MWh, dos quais 2,6 MWh estariam disponíveis para exportação (venda ou fornecimento externo). O módulo, que ocuparia uma área de 12.000m². No entanto a alternativa só é viável para municípios com população acima de 180 mil habitantes ou, então, no caso de um consórcio de municípios. Alternativa já bastante utilizada para viabilizar os aterros sanitários.

O problema é que mesmo assim os custos ainda são altos: enquanto que a implantação de um aterro sanitário gira em torno de R\$9,00 por habitante, os custos de implantação da USINAVERDE (aprox. R\$37 milhões) ficam em torno de R\$200,00. (FONTE: USINAVERDE e RIBEIRO). Mas, claro que existem meios de diminuir essa diferença.

Além de haver um retorno do investimento em 7 anos em média (que pode ser conseguido com a venda do excedente de energia elétrica gerada), e não haver um limite para a vida útil da usina desde que sejam feitas as manutenções preventivas (o que não acontece com os aterros), ainda há a possibilidade da geração e comercialização dos chamados créditos de carbono.

Os Créditos de Carbono é quantidade de créditos criada por um projeto de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) é calculada levando-se em conta a redução na emissão de GEE (Gases de Efeito estufa).

O ministro do Meio Ambiente disse que o Brasil teria a receber por este mecanismo receita de US\$ 2,5 bilhões (R\$ 12,5 bilhões), equivalentes à redução estimada de 250 milhões de toneladas de gás carbônico (Manzano, G1 08/2019).

No **Brasil**, o comércio de créditos de carbono é feito pela **Bolsa de Mercadorias & Futuro** por meio de leilões. As principais bolsas de créditos de carbono no mundo são: European Union Emissions Trading Scheme (Europa); New South Wales(Oceania); Chicago Climate Exchange (América do Norte) e Keidanren Voluntary Action Plan (Ásia),site(brasilecola.uol.com.br/geografia/creditos-carbono). Isso porque a USINA VERDE previne a emissão do metano que seria exalado na decomposição dos materiais orgânicos em um aterro. Outra forma de ganho é a possibilidade de recepção pelo município de benefícios fiscais vindos do Estado.

As cidades que tenham investido em destinação do tratamento dos resíduos sólidos urbanos (uma das medidas de saneamento básico), o que é o caso da USINAVERDE. Isso tudo sem contar que não possui restrições de localização uma vez que não há emissão de odores, nem contaminação do solo ou do lençol freático, além de praticamente não haver geração de resíduos no processo.

Geração de energia: a geração de energia na USINAVERDE é muito mais eficiente do que em um aterro. Enquanto uma usina de conversão térmica de resíduos consegue converter 1 tonelada de RSU em 520KWh, a mesma quantidade de resíduos em um aterro rende apenas 20KWh. É uma diferença de 26 vezes (FONTE: PENA). Sem contar que devido a possibilidade de instalação da USINAVERDE próxima as cidades (centros de consumo) O Gráfico 1 apresenta a população estimada e o valor ano 2018 gasto de coleta de lixo na cidade de Duque de Caxias-RJ.

Gráfico 1: Valor da taxa de recolhimento lixo urbano taxa de lixo.



Fonte: O próprio autor (2020).

Lei N° 2886 2017, página 97, Lei Orçamentária Anual 2018, Anexo II – Resumo Geral da Receita N°1.1.22.01.00.00, Taxa de coleta de lixo R\$ 21.600.000,00. População estimada 919.596 (IBGE 2019).

O Quadro 1, mostra quais as vantagens e desvantagens para a implantação de uma usina termoelétrica a partir de resíduos sólidos.

3.2. Estudo de caso proposto

Lages é a única cidade da região Serrana Catarinense que ainda não tem o Plano Municipal de Resíduos Sólidos, que inclui tratamento e reciclagem do **lixo**, conforme determina a Lei Federal 12.305, de 2 de agosto de 2010. A questão envolvendo o **lixo** em Lages foi tema de audiência pública, na última quarta-feira 19/10/18, na Câmara de Vereadores do município. Segundo o vereador (PT), um dos proponentes do evento, a sessão teve como objetivo debater o assunto e apontar soluções quanto à gestão dos resíduos sólidos e rejeitos produzidos na cidade conforme site (saneamento básico).

Quadro 1: Vantagens e desvantagens da implantação da usina termoeétrica, segundo a (Usina Ver-de, 2020).

Implantação da usina termoeétrica	
Vantagens	Desvantagens
Custo até 50% menor com a tecnologia nacional.	50% maior do que importar.
Créditos de carbono R\$ 10,00 a tonelada.	
90% tratamento lixo urbano(RSU).	
150ton/dia geração de 3,2MWh	Acima de 180.000 habitantes.
As cinzas cerca de 8% serão utilizadas na confecção de tijolos, adicionando 15% de cimento, isso gerara a quantidade suficiente para fazer uma casa de 50m ² por dia.	
1 tonelada de RSU gera em torno de 520KWh de energia na USINAVERDE.	1 tonelada de RSU em 20KWh (aterro sanitário).
Aterro sanitário gira em torno de R\$9,00 por habitante,	Em torno de R\$200,00.
Qualquer local para a instalação, podendo ser implantada também na área urbana, módulo de 12.000m ² .	Local específico, longe dos centros urbanos.
Não há um limite para a vida útil da usina desde que sejam feitas as manutenções preventivas.	O que não acontece com os aterro.

Fonte: O próprio autor, (2020).

O secretário municipal de Meio Ambiente o afirmou que a prefeitura está trabalhando para criar o plano municipal de resíduos sólidos. O Governo do Estado e o Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) seriam parceiros no projeto. Outras vantagens, principalmente do ponto de vista ambiental, o plano permitirá que o município possa buscar recursos financeiros nas esferas estadual e federal para investir na gestão do **lixo**.

Todo o **lixo** gerado em Lages é levado para o aterro municipal, que fica às margens da BR-282, na localidade de Índios. O local recebe, em média, 4 mil toneladas de resíduos por mês, com tratamento de chorume, dentre outros serviços.

De acordo com o gerente do aterro, Bruno Bittar, o local tem vida útil até 2026, contudo, tem espaço para operar por pelos menos mais oito anos. “Este prazo é definido com base em estudos sobre o volume de material recebido e o crescimento populacional da região”. População estimada 157.544 pessoas, (IBGE, 2019).

O Quadro 2, apresenta os valores pagos para a coleta do lixo urbano de cada contribuinte na cidade de Lages-SC, conforme a categoria do imóvel.

Quadro 2: Valor pago por família para a coleta lixo.

CATEGORIAS DOS IMÓVEIS	FREQUÊNCIA DA COLETA			
	VALOR MENSAL		VALOR ANUAL	
	3x na semana	6x na semana	3x na semana	6x na semana
Residencial	R\$ 16,00	R\$ 32,00	R\$ 192,00	R\$ 384,00
Comercial, Industrial e Pública	R\$ 23,00	R\$ 46,00	R\$ 276,00	R\$ 552,00
NÚMERO DE CONTRIBUINTE:62.250				

Fonte: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/l/lages>, (2020).

No Gráfico2 estão apresentados os valores ano em reais por categoria de contribuintes._No entanto, o Gráfico 3 mostra a viabilidade para a implantação da usina RSU (resíduos sólidos urbanos) em Lages SC e quanto de geração em MW ano, despesas com a coleta de lixo, quantidade de residências e os valores em R\$.

Gráfico 2: Valor da taxa de recolhimento lixo urbano.

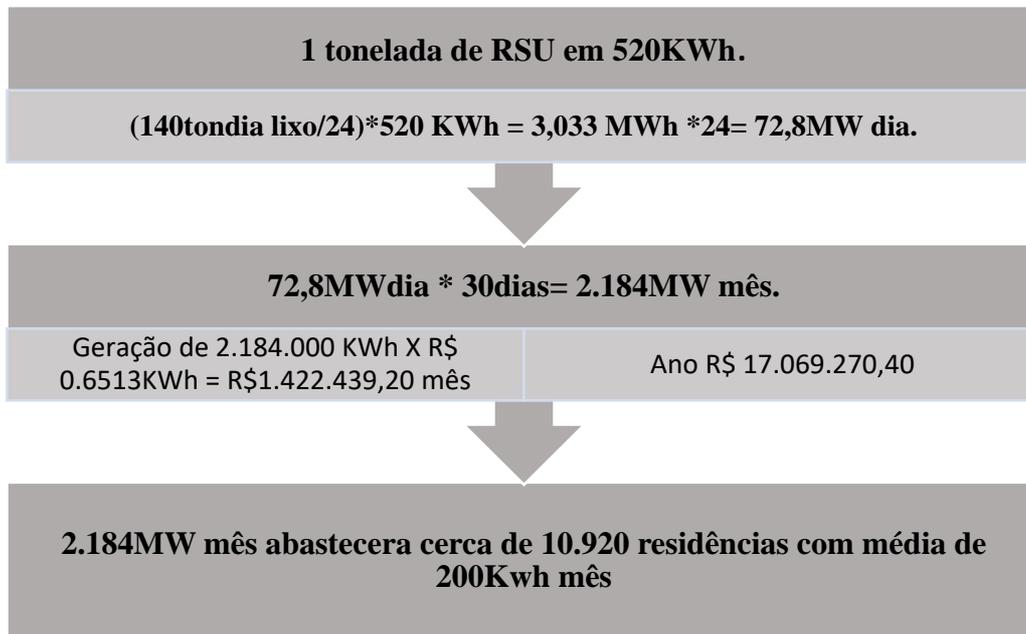


Fonte: O próprio autor, (2020).

O Quadro 3 apresenta a equação do valor do Kwh, do mês de maio da CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A,2020). Na Equação 1, pode-se observar que a Tarifa Final em reais do KWh, após a inserção dos valores tributários:

$$0,46978/[100 - (0,51+2,37+25)]/100= \mathbf{R\$ 0,6513} \quad (1)$$

Gráfico 3: Valores da geração em MW, R\$.



Fonte: O próprio autor, (2020).

Quadro 3: Tabela com tributos KWh.

Tarifa final em R\$	Tarifa homologada/ [100 – (alíquota PIS + alíquota COFINS + alíquota ICMS)] / 100			
	PIS	COFINS	ICMS	Tarifa homologada R\$
	0,51%	2,37%	25%	0,46978

Fonte: (celesc.com.br/tarifas-de-energia#tributos, acessado em Jun/2020)

Para o projeto dessa usina, desse porte, será levado em consideração as 140 toneladas produzidas de lixo por dia, na cidade de Lages S/C.

Assim, analisando o custo para cada habitante, para este modelo de usina, será de R\$ 200,00 reais. Sabe-se que a cidade de Lages possui atualmente 157.544 habitantes. Logo, o custo de implantação dessa usina será de R\$ 31.509.000,00 reais.

Apesar do custo de implantação ser elevado, deve-se ter em mente que o valor do lucro mensal com a geração de energia será, como apresenta. R\$= 0,6513kwh x 2184 MW mês =1.422.439,20 reais.

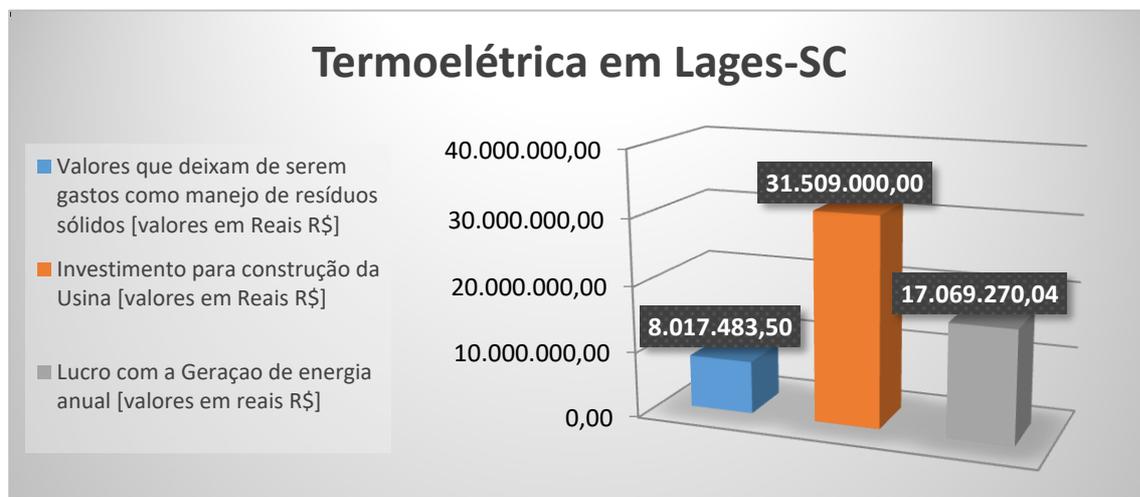
Dessa forma, o lucro obtido com a geração de energia será conforme apresenta a R\$1.422.439,20 x 12 = 17.069.270,40.

Conforme previsto na lei complementar nº87(29/12/97), a despesa anual com limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos por ano é de R\$=13.362.472,44 reais, considerando que deste valor gasto, 60% seja utilizado apenas manejo de resíduos sólidos, assim tem-se R\$ 13.362.472,44 x 0,6≅ 8 milhões.

Somando então o valor de 8 milhões de reais gasto no destino anual de resíduos sólidos, do lucro com a geração de energia, tem-se R\$ 8.017.483,50 + 17.069.270,40= R\$ 25.058.753,90 reais ao ano.

Portanto, pode-se abater no valor investido de R\$ 31.509.000 o valor de R\$ 25.086.753,90 reais ao ano. Assim o tempo de reembolso passa a ser de aproximadamente de 16 meses. É importante salientar que nesse cálculo ainda não está descrito o valor a receber em função dos créditos de carbono. O Gráfico 4, mostra os valores a serem investidos e do abatimento e da geração em R\$.

Gráfico 4: Implantação de uma termoeletrica através do lixo urbano na Cidade de Lages - SC.



Fonte: O próprio autor, (2020).

Não possui restrições de localização uma vez que não há emissão de odores, nem contaminação do solo ou do lençol freático, além de praticamente não haver geração de resíduos no processo.

As cinzas, cerca de 8% liberadas após o tratamento térmico dos RSU podem ser utilizadas pela indústria da construção civil na confecção de tijolos e também para a pavimentação, sendo agregados 15% de cimento para a confecção. Seria possível fabricar uma casa de 50m² por dia. A Figura 4 mostra os tipos de tijolos das cinzas que poderão construir e pavimentar as ruas. A Figura 5 representa a quantidade de emissão de CO₂ em toneladas através da calculadora. O Gráfico 5 representa a quantidade de CO₂ emitida por dia em Lages SC, lixo em toneladas dia.

Figura 4: Tijolos para construção civil e pavimentação.



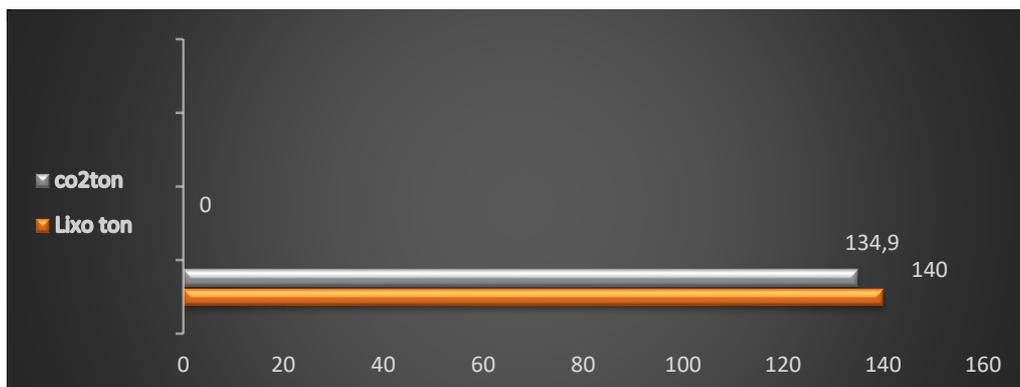
Fonte: usina verde, (2020).

Figura 5: Calculadora de CO₂.

Destinação	Resíduos Sólidos - Quantidade Gerada por Dia (em quilos)	Emissão de CO ₂ /Mês
Aterros	<input type="text" value="140.000"/>	134904
Total de Emissões (Ton CO ₂)		Árvores Necessárias a Compensação
134.904		963.823249411176

Fonte: TJPR Gestão Ambiental, (2020).

Gráfico 5: Quantidade de CO₂ na atmosfera.



Fonte: O próprio autor, (2020).

A Figura 6 apresenta a quantidade de árvores que teria que plantar por toneladas de CO₂.

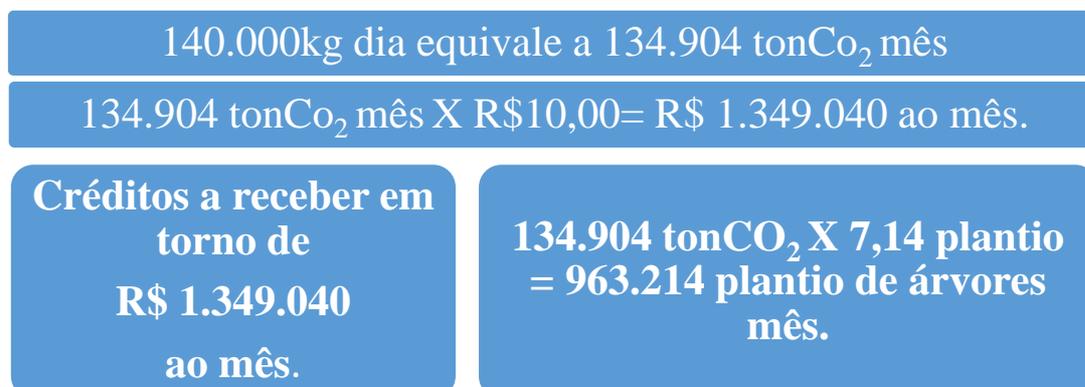
Figura 6: TonCO₂ plantio árvore.



Fonte: TJPR Gestão Ambiental, (2020).

Especialista diz que valores são projeções, do ministro (Meio Ambiente) disse que o Brasil teria a receber por este mecanismo receita de US\$ 2,5 bilhões (R\$ 12,5 bilhões), equivalente à redução estimada de 250 milhões de toneladas de gás carbônico (Manzano, G1 08/2019). O Gráfico 6 mostra a quantidade de CO₂ gerado dia através do lixo urbano em Lages - SC, total de árvores a serem plantadas. A Figura 6 mostra o lixão de Lages, onde são depositadas 140 toneladas de lixo por dia.

Gráfico 6: Quantidade de CO₂ e árvores a serem plantadas.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Figura 6: Aterro sanitário de Lages.



Fonte: Chagas, novembro, 2018.

4.CONCLUSÃO

Apresentados e comparados alguns aspectos na geração de energia pelo uso de resíduos sólidos, demonstrando que o Brasil perde muitos recursos devido à falta de investimento e administração de suas matérias primas. Também foi estudado a viabilidade econômica e ambiental desse tipo de geração de energia elétrica. Para implantação do sistema de incineração apenas do lixo, mostrou que pode se obter uma eficiência, ou melhor, um aproveitamento maior da energia do lixo utilizando um sistema combinado.

No caso do módulo de 12.000m², qualquer local está apto para a instalação, podendo ser implantada também na área urbana. Além disso, não há um limite para a vida útil da usina desde que sejam feitas as manutenções preventivas.

A geração de energia a partir de RSU ainda é incipiente no país se comparado às outras fontes de geração. No entanto, o desenvolvimento e ampliação desta fonte na matriz elétrica poderão ser viabilizados com a implantação de políticas públicas e incentivos fiscais e econômicos que fomentem este tipo de geração.

E diferente de casos como aterros sanitários, pode-se utilizar como fonte de faturamento apenas a venda da energia elétrica gerada, onde seria necessário cobrar uma taxa para coleta e destinação dos RSU. Com isso pode-se concluir a viabilidade de utilização desta tecnologia no país, desde sendo utilizada como unidade de geração de energia, aproveitando o espaço e utilizando também para geração de emprego e capacitação da população.

Outro incentivo regulatório para o desenvolvimento de produção de energia a partir de RSU foi a Chamada nº 14 da ANEEL publicada em 2012. Esta, intitulada de “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás oriundo de Resíduos e Efluentes Líquidos na Matriz Energética Brasileira” faz parte dos programas de P&D da ANEEL e resultou no recebimento de 23 propostas de projetos com investimento aproximado de R\$476 milhões e previsão da instalação de 33,7MW (ANEEL, 2012).

5. REFERÊNCIAS

ABNT – NBR8419. Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. 1992.

ABNT – NBR13896. Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação. 1997.

ABNT – NBR10004. Resíduos Sólidos – Classificação. 2004. BRASIL - Lei nº 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.

BRASIL - Lei nº 11.445. Estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento MMA – Estudo Sobre o Potencial de Geração de Energia a Partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), Visando Incrementar o Uso de Biogás como Alternativa de Energia Renovável. São Paulo, Brasil. 2010.

MONTEIRO, J., FIGUEIREDO, C., MAGALHÃES, A, MELO, M., BRITO, J., ALMEIDA, T., MANSUR, G. - Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Coordenação técnica Victor zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 200P. 2001.

MORGADO, T.; FERREIRA, O. – Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Co-Geração de Energia. Estudo para a Região Metropolitana de Goiânia. Universidade Católica de Goiás, Goiânia. 2006. MOURA, R. - Avaliação do Potencial de Geração de Energia a partir dos Resíduos Orgânicos do Restaurante universitário Central da UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2017.

NASCIMENTO, L.; FILHO, N.; ZAKON, A. – Cinzas da Incineração de Lixo: Matéria-prima para Cerâmicas. Revista Ciência Hoje, v. 27, p. 63-57, 2000.

RUSSO, M. – Tratamento de Resíduos Sólidos. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. 2003. ZMS - Zweckverband Müllverwertung Schwandorf. Consórcio Intermunicipal para o Aproveitamento de Resíduos Sólidos. Schwandorf, Alemanha. 2014.

RIBEIRO. J. G. de S., BARROS, R. T. de V. e LANGE, L. C. Avaliação do Consórcio Público do Aterro Sanitário de João Monlevade – MG. Trabalho apresentado no: XXXI Congresso Interamericano AIDIS. Santiago – Chile. 12-15 Outubro de 2008. Acessado em: <http://www.documentos.aidis.cl/> [.doc]

PENA, Dilma Seli. Pronunciamento na Abertura da FIESP. Seminário Internacional – Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo – 17 e outubro de 2008.

Revista brasileira de Energias Renováveis-pdf. Compromisso com o meio ambiente. Av. Carlos chagas filho 791, parte ilha do Fundão Rio de Janeiro, R-CEP:21.941-904.<http://www.usinaverde.com.br/>

Eletroclean Eng. Empresa voltada serviços de consultoria e elaboração de projetos e manutenção.R: Alagoas,25A, SAde J, BA, <https://www.eletroclean.com.br/author/admin/>

Agência paulista de promoção de investimentos e competitividade. Av. Escola Politécnica, 82 - Jaguaré - CEP: 05350-000 - São Paulo - SP - Fone: (+55 11) 3100-0300 Fax: (+55 11) 3100-0321 <https://www.investe.sp.gov.br/noticia/lixo-e-opcao-para-matriz-energetica/>

Educação conteúdo educacionais.<https://www.educacao.cc/ambiental/geracao-de-energia-a-partir-do-lixo/>

Vivagreen.<https://vivagreen.com.br/energia/parana-tera-1a-usina-do-brasil-gerar-energia-por-meio-de-esgoto-e-lixo/>

Toda matéria. <https://www.todamateria.com.br/lixo-organico/>

G1.<http://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2014/09/energia-partir-do-lixo-eleva-potencial-eletrico-mas-nao-descarta-hidrelicas.html>

Associação brasileira de recuperação energética de resíduos. <https://www.saneamento.basico.com.br/gerar-energia-atraves-lixo/>

Radar do futuro. <https://radardofuturo.com.br/usina-verde-pode-gerar-32-mwh-a-partir-do-lixo/>

Especialista diz que valores são projeção créditos carbonos. <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/08/28/brasil-nao-tem-creditos-de-carbono-para-receber-da-comunidade-internacional-dizem-especialistas.ghtml>

Saneamento básico Lages- S/C. <https://www.saneamentobasico.com.br/lages-recicla-lixo/>

Valor do recolhimento do lixo urbano. <https://leismunicipais.com.br/a/sc/l/lages/decreto/2019/1780/17798/decreto-n-17798-2019> -fixa-o-valor-da-taxa-de-coleta-de-lixo-para-o-exercicio-de-2020-e-da-outras-pro-videncias

População de Lages/ SC. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/lages.html>

Valor de co2 na atmosfera <https://www.tjpr.jus.br/web/gestao-ambiental/calculadoraco2>

- População estimada de Duque de Caxias 919.596.<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/duque-de-caxias/panorama> -

Tarifas vigentes kwh. <https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#tarifas-vigentes>.

Principais bolsas que operam com os créditos carbonos <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/creditos-carbono.htm>.