

# ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO A PARTIR DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM FLORIANÓPOLIS/SC.<sup>1</sup>

Sheila Fernanda Pereira<sup>2</sup>

Ewerthon Cezar Schiavo Bernardi<sup>3</sup>

## RESUMO

Com o aumento da população brasileira, a incorporação de novos hábitos da sociedade moderna e processo de industrialização, a quantidade de RSU gerados, têm aumentado significativamente. Em 2019, no Brasil foram gerados 79 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Grande parte dos resíduos gerados tem como sua destinação final aterros sanitários e até mesmo lixões como nas regiões nordeste e norte do Brasil. Com o avanço tecnológico, estão cada vez mais difundidas as tecnologias *Waste to Energy*, que visam tratar os resíduos e gerarem a recuperação energética na forma de calor, eletricidade ou de combustíveis alternativos. O objetivo deste artigo é verificar o potencial de geração de energia elétrica a partir da implantação de uma usina de recuperação energética, na cidade de Florianópolis/SC, diante disso verificou-se que no Brasil existem projetos para a implantação de usinas de reaproveitamento energético, tendo como combustível os RSU. A partir destes estudos já desenvolvidos foi possível verificar a quantidade de energia que é capaz de se gerar por tonelada de RSU. Foi realizado o levantamento das quantidades de RSU geradas em Florianópolis nos anos de 2017/2018 e 2019/2020. Verificou-se a capacidade de geração de energia elétrica utilizando os RSU de Florianópolis, e a viabilidade considerando dois cenários sendo o primeiro a incineração de 100% dos RSU gerados e o segundo a segregação dos materiais com potencial a reciclagem e incineração dos resíduos restantes. Ambos os cenários se apresentaram viáveis, e com capacidade de geração entre 117.190 MWh/ano e 63.500 MWh/ano.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos. *Waste to Energy*. Incineração.

1 Artigo Apresentado à Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, em 2021.

2 Graduando em Engenharia Civil. – E-mail: Sheila\_fernanda15@hotmail.com

3 Professor orientador. Mestre em Engenharia Ambiental. Docente na Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). E-mail: ewerthon.bernardi@animaeducacao.com.br.

## 1 INTRODUÇÃO

A redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE) e o aquecimento global são preocupações importantes relacionadas ao meio ambiente e clima. Com a falta de investimento por parte do poder público nesta área, juntamente com a ausência de informações e projetos, o avanço ainda é lento quando se trata das conquistas ambientais relativos à área. O aumento dos GEE está ligado diretamente à decomposição de resíduos sejam eles destinados em aterros ou de forma inadequada como em lixões. Por esse motivo, a gestão correta dos resíduos sólidos contribui diretamente para a redução das emissões de GEE e, conseqüentemente, para desaceleração do aquecimento global (LUIZ; SUSKI, 2019).

No Brasil, para a redução dos impactos relativos à aos resíduos sólidos urbanos, foi instituída a Lei nº 12.187/2009, que estabelece a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e dá outras providencias como os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos. A lei visa à redução da emissão de GEE, mediante criação de medidas responsáveis por estimular o desenvolvimento de processos e tecnologias que tenham como objetivo a redução das emissões dos gases e remoção dos mesmos (BRASIL, 2009). Ainda, existe a Lei nº 12.305/2010, que em complemento a PNMC, define entre seus objetivos a utilização de tecnologias limpas como forma de reduzir os impactos ambientais, assim como incentivos voltados à melhoria de processos produtivos e reaproveitamento de resíduos sólidos, enquadrando também a recuperação e aproveitamento energético desses resíduos (BRASIL, 2010a).

É papel fundamental do poder público a gestão dos impactos negativos provenientes dos RSU e seu dever contribuir com a proteção ambiental, mediante propostas de implantação de políticas públicas e ações praticas. Fica estabelecido no Art. 35º do decreto nº 7.404/2010 que regulamenta a PNRS, que deverá ser priorizada e na seguinte ordem: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final para os RSU, sendo priorizada ao máximo a redução da geração dos mesmos. Quanto ao tratamento e disposição final, deve ser dado tratamento diferenciado aos resíduos, buscando técnicas de recuperação energética que tenham como objetivo a redução dos GEE, além do aproveitamento dos materiais aptos a

reciclagem e recuperação energética dos rejeitos, utilizando biodigestores e/ou incineradores com capacidade de geração de energia, evitando assim o lançamento dos gases prejudiciais na atmosfera e aproveitando para a geração de energia utilizando recurso renovável (BRASIL, 2010b).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo, verificar o potencial de geração de energia elétrica a partir da implantação de uma usina de recuperação energética, na cidade de Florianópolis/SC,.

Os objetivos específicos são:

- i. Analisar diferentes cenários da incineração dos resíduos;
- ii. Quantificar a produção de energia elétrica de acordo com cada cenário;
- iii. Verificar a quantidade de Unidades Consumidoras que poderiam ser atendidas com a geração da usina;
- iv. Verificar a viabilidade técnica da implantação.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)**

Com o crescimento populacional, associado à revolução tecnológica e a mudança no estilo de vida e consumo da população, a geração de resíduos sólidos vem crescendo anualmente principalmente nos maiores centros urbanos, tanto em termos de quantidade quanto de diversidade (GOUVEIA, 2012).

Resíduos sólidos urbanos são todos aqueles que se resultam das atividades doméstica em residências urbanas ou que são originários de limpeza urbana, como a varrição de logradouros e vias pública e etc. Desta forma, estes resíduos gerados necessitam de gerenciamento e gestão adequada, sendo o gerenciamento dos RSU um conjunto de ações tomadas desde a coleta destes resíduos até sua destinação final em local ambientalmente adequado. A gestão, por sua vez, trata de ações que buscam desenvolver soluções para a destinação dos resíduos, considerando dimensão econômica, política, ambiental, social e cultural (BRASIL, 2010a).

A gestão dos resíduos sólidos é um problema de escala global, capaz de afetar toda a população mundial. Todos são responsáveis pelas decisões que

devem ser tomadas, referente ao consumo e a gestão dos resíduos sólidos gerados, que podem prejudicar a produtividade, limpeza e a saúde das comunidades. O mau gerenciamento dos resíduos contamina oceanos, obstruiu tubulações, causam inundações e alagamentos, além de afetar diretamente a saúde pública por meio da transmissão de doenças via reprodução de vetores, aumento da ocorrência de problemas respiratórios por conta das partículas expelidas da queima de resíduos, afetando, também, o desenvolvimento econômico pela diminuição do turismo. A falta do gerenciamento correto desses resíduos durante décadas, juntamente com o crescimento econômico, fez com que a problemática se acumulasse e atualmente requer ações urgentes para a minimização dos efeitos adversos (THE WORLD BANK, 2018).

### **2.1.1 Panorama da Geração de Resíduos Sólidos no Mundo**

Em todo o mundo, no ano de 2018 foram gerados 2,01 bilhões de toneladas de RSU, sendo que 33% não foram gerenciados de maneira ambientalmente correta. Estima-se que em 2050 serão gerados, 3,40 bilhões de toneladas de resíduos no mundo (THE WORLD BANK, 2018).

Os resíduos sólidos urbanos são resultantes das atividades humanas e sempre existirão. Contudo, a utilização de aterros como destinação final de resíduos tem sido desafiada nas últimas décadas por razões de disponibilidade de espaço e dos efeitos negativos que causam no solo, água e ar. As cúpulas mundiais abordaram o tema dos resíduos dentro do tema geral de saneamento e estabeleceram metas para a expansão gradual dos serviços de coleta para toda a população dos centros urbanos (FEHR, 2010).

De acordo com o panorama dos resíduos sólidos no Brasil de 2020, num levantamento realizado pela Abrelpe (2020) foram gerados, em todo o território Nacional no ano de 2019, cerca de 79.069.585 toneladas de RSU, aproximadamente 379,2Kg por habitante, no ano do estudo. O Estado com a maior geração de resíduo é São Paulo, com aproximadamente de 23.069.825 t/ano de resíduos, esse número representa cerca de 29% de toda a geração do país. O estado de Santa Catarina apresentou uma geração de 1.861.865 t/ano em 2019 e, comparando com a geração do ano de 2010, houve um aumento

de 27% dos RSU. Ainda de acordo com o Abrelpe (2020), o estado de Santa Catarina coleta e destina, por intermédio de empresas responsáveis, cerca de 96,2% dos resíduos gerados em seu território e em 90,9% dos municípios do Estado além da realização da coleta convencional, ocorre também coleta seletiva (ABRELPE, 2020).

De acordo com EPE (2014), a composição do RSU brasileiro no ano de 2010 foi 60% de material orgânico, 5% de inertes e 35% de recicláveis sendo eles, 18% de papel, 12% de plástico, 3% de vidro e 2% de metal. Já em estudo realizado pela Abrelpe (2011), a gravimetria dos resíduos sólidos gerados no Brasil no ano de 2011 se deu de acordo com a tabela abaixo:

**Tabela 1 - Composição Gravimétrica Média dos RSUs no Brasil, 2011.**

<b>Material</b>	<b>Participação (%)</b>	<b>Quantidade (t/ano)</b>
<b>Matéria Orgânica</b>	51,4	28.544.702
<b>Papel, papelão</b>	13,1	7.275.012
<b>Plástico</b>	13,5	7.497.149
<b>Vidro</b>	2,4	1.332.827
<b>Metais</b>	2,9	1.610.499
<b>Outros</b>	16,7	9.274.251
<b>Total</b>	100,00	55.534.440

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2011).

### **2.1.2 Geração em Florianópolis**

A cidade de Florianópolis é a capital do estado de Santa Catarina, situado na região Sul do Brasil. No ultimo censo realizado em 2010 a população era de 421.240 habitantes, estima-se que no ano de 2020 a população contava com 508.826 habitantes (IBGE, 2020).

A empresa responsável pela coleta de resíduos sólidos e pela limpeza pública na cidade de Florianópolis é a Companhia de Melhoramentos da Capital (COMCAP), fundada em 22 de julho de 1971 por meio da Lei Municipal nº 1.022, e atuante desde 1976 (FLORIANÓPOLIS, 1971). A coleta de resíduos sólidos engloba desde a coleta convencional, infectantes, seletiva e resíduos de construção civil, e na limpeza pública são realizadas as atividades como varrição, roçagem, capinas, desratização, limpezas de córregos e cursos

d'água, manutenção de vias públicas e ações como mutirões realizados nas praias e em outros locais (COMCAP, 2013).

Em 2016, a Prefeitura Municipal de Florianópolis em conjunto com a COMCAP e com a empresa Ampla Consultoria, elaborou o Plano Municipal de Coleta Seletiva (PMCS). Assim, o PCMS caracterizou qualitativamente os resíduos da coleta convencional para o município de Florianópolis, através da amostragem dos resíduos coletados em todas as regiões do Município. Os dados foram obtidos por amostragem realizada ao longo de 12 meses, e a metodologia de coleta da amostra foi a do quarteamento da amostra, conforme determina a NBR 10.007/2004 – Amostragem de Resíduos Sólidos (PMF, 2016).

A classificação dos resíduos analisados da coleta convencional e suas características estão apresentadas no Quadro 1:

**Quadro 1 – Massa por Material da Coleta Convencional de Florianópolis.**

<b>Gravimetria da Coleta Convencional de Florianópolis</b>	<b>Subproduto</b>	<b>Massa Total (Kg)</b>	<b>Percentual Total</b>
<b>Resíduo Orgânico</b>	<b>Poda e Capina</b>	18.311.004	11,87%
	<b>Alimentos</b>	38.643.500	25,05%
<b>Papel</b>		3.493.481	2,26%
<b>Papelão</b>		7.652.156	4,96%
<b>Papel Misto</b>		11.493.128	7,45%
<b>Plásticos Moles</b>	<b>PEAD</b>	7.996.751	5,18%
	<b>PVC</b>	813.798	0,53%
	<b>PEBD</b>	8.514.407	5,52%
	<b>PP</b>	13.922	0,01%
	<b>PS</b>	0	0,00%
<b>Plásticos Moles</b>	<b>EPS</b>	0	0,00%
	<b>Plástico Metalizado</b>	1.055.743	0,68%
<b>Plásticos Duros</b>	<b>PET</b>	4.506.596	2,92%
<b>Plásticos Duros</b>	<b>PEAD</b>	725.379	0,47%
	<b>PVC</b>	435.060	0,28%
	<b>PEBD</b>	29.536	0,02%
	<b>PP</b>	1.619.225	1,05%
	<b>PS</b>	1.088.274	0,71%
	<b>EPS</b>	1.048.428	0,68%
	<b>Plástico Metalizado</b>	55.207	0,04%
	<b>Outros</b>	2.902	0,00%
<b>Vidro</b>		5.022.183	3,26%
<b>Tetra Pack</b>		2.025.317	1,31%
<b>Metais</b>	<b>Alumínio</b>	931.784	0,60%
	<b>Ferro</b>	2.966.715	1,92%
	<b>Outros</b>	11.892	0,01%
<b>Madeira</b>		598.930	0,39%
<b>Têxteis, couro, trapos</b>		6.548.649	4,25%
<b>Tóxicos</b>	<b>Pilhas, Baterias e Lâmpadas.</b>	11.231	0,01%
<b>Infectantes</b>		714.264	0,46%
<b>Fraldas e Lixo Sanitário</b>		25.882.951	16,78%
<b>Resíduos da Construção Civil</b>		295.590	0,19%
<b>Borracha</b>		749.384	0,49%
<b>Eletrônicos</b>		973.024	0,63%
<b>Outros</b>		23.112	0,01%
<b>Total</b>		154.253.523	100%

Fonte: Adaptado de PMF (2016).

Em estudo realizado pela COMCAP (2017), foi identificado que Florianópolis é a capital que mais cresceu no sul do Brasil, uma vez que a população em média cresce 2,5% ao ano e, por se tratar de uma região com alto poder de consumo associado ao aumento do turismo na cidade, na última década a geração de resíduos cresceu aproximadamente 6% ao ano, movimentando cerca de 202 mil toneladas de resíduos no ano de 2017.

Das 202 mil toneladas de resíduos gerados, 93% tem como sua destinação final aterros sanitários e 7% apenas são destinados à reciclagem,

por mais que a capital esteja entre uma das 10 melhores porcentagens de reciclagem de resíduos no Brasil, sendo que este número está bem abaixo do que era previsto no Plano Municipal de Saneamento e de Coleta Seletiva que era de 20% (COMCAP, 2017).

Em abril de 2021, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) apresentou um novo sistema que informa, em tempo real, os dados do manejo de resíduos sólidos em Florianópolis, batizado de Residuômetro. Criado utilizando a ferramenta *Power BI* ele é alimentado pelo banco de dados da Comcap desde 2017, e serve para a população acompanhar a geração de resíduos (PMF, 2021).

Com base nos dados disponibilizados no Residuômetro, no ano de 2020, foram geradas 220.547 toneladas de resíduos sólidos urbanos na Cidade, do total, apenas 13.502 toneladas foram destinadas à reciclagem e 5.077 toneladas de material orgânico tiveram como destinação a compostagem, o restante dos resíduos teve como disposição final o aterro sanitário.

No Quadro 2, apresenta-se a quantidade de resíduos gerados de acordo com a sua classificação (COMCAP, 2021).

**Quadro 2 – Resíduos Gerados em Florianópolis em 2020.**

<b>Rejeitos</b>	
Construção Civil	1.322.85
Madeiras (Rejeito)	206.290
Podas (Rejeito)	103.140
Coleta Seletiva	2.399.870
Rejeitos	187.042.910
<b>Recicláveis</b>	
Eletrônico	46.000
Isopor	3.050
Madeiras	1.317.310
Metal/Ferro	598.870
Pneus	117.394
Recicláveis Secos	9.253.910
Vidro	1.895.180
<b>Orgânicos</b>	
Alimentos	3.879.870
Óleo Vegetal	264.280
Verdes	11.044.920

Fonte: Adaptado de Comcap (2021).

## 2.2 DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

São diversas as destinações para os resíduos sólidos urbanos existentes, entre as mais conhecidas estão:

- Lixões e Vazadouros: São formas inadequadas de disposição final dos RSU, pois consiste em apenas despejar todo o resíduo sólido coletado sobre o solo, sem nenhuma medida de proteção a saúde pública e ao meio ambiente, a céu aberto. Os RSU quando dispostos assim, além de acarretarem problemas à saúde pública com a proliferação de vetores de doenças, ocasionam a poluição do solo e das águas subterrâneas, assim como a geração de mau odor produzido pela decomposição da parcela orgânica dos RSU (D'ALMEIDA, 2000).
- Aterro Controlado: Se trata de uma técnica que causa menos danos ou riscos à saúde pública, porém como normalmente não dispõe de impermeabilização na sua base, o risco de contaminação do solo e das águas subterrâneas ainda está presente. A técnica basicamente consiste em dispor os resíduos sólidos no solo e, ao final de cada turno de trabalho, uma camada de material inerte é espalhada sobre os resíduos. Quando comparado ao lixão, o aterro controlado é o preferível, porém não se trata de um método ambientalmente correto (D'ALMEIDA, 2000).
- Aterro Sanitário: se trata da alternativa com maiores vantagens se considerada a redução dos impactos ambientais. Nos aterros sanitários, o resíduo é colocado em solo impermeabilizado, o que impossibilita que o lençol freático seja contaminado com os líquidos residuais provenientes da decomposição da matéria orgânica presente nos RSU. Os aterros sanitários também contam com drenos de fundo para a coleta do chorume e dispersão do metano, drenos superficiais para a coleta da água das chuvas e lagoas de estabilização que recebem os efluentes dos drenos e tem como função a biodegradação da matéria orgânica (D'ALMEIDA, 2000).

Além dos modos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos previamente apresentados, existem formas de tratamentos para esse resíduo, como:

- **Reciclagem:** Define-se como reciclagem a reintrodução dos resíduos no processo produtivo gerando um novo produto. Porém, para que isto aconteça deve-se segregar e encaminhar estes resíduos para locais onde serão reaproveitados (BRITO, 2013).
- **Compostagem:** Compostagem é um processo de transformação bioquímica da matéria orgânica facilmente degradável (em condições controladas de aeração, temperatura e umidade) em um produto denominado de composto orgânico, que pode ser utilizado para aplicações no solo com a finalidade de melhoria da qualidade do mesmo (BRITO, 2013). Por ser um processo natural que consiste em processar material orgânico rico em nutrientes, e utilizá-los como adubo, pode ser considerado uma das mais antigas técnicas utilizadas de reciclagem (CASTRO, 2002). Dentre as vantagens da compostagem pode-se citar que o adubo produzido auxilia na prevenção de erosões no solo, aumento da umidade, controle do pH e fornece importantes nutrientes. Entretanto esse tipo de tratamento só deve ser aplicado para resíduos orgânicos, pois outros tipos de materiais podem ser prejudiciais ao solo (BRITO, 2013).

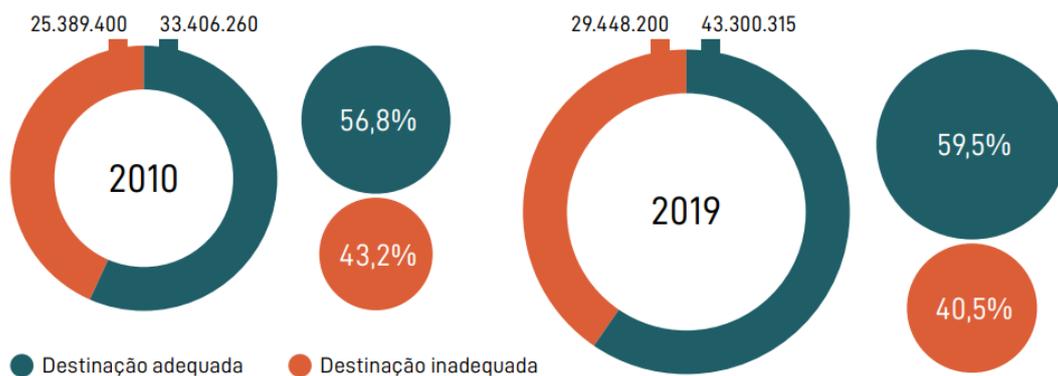
### **2.2.1 Panorama das destinações no Brasil e no mundo**

Em todo o mundo, aproximadamente 7% dos resíduos são dispostos em aterros sanitários. Cerca de 19% são reciclados ou passam pelo processo de compostagem e 15% são tratados por meios modernos de incineração. Embora os governos estejam empenhados na busca de métodos sustentáveis para a destinação dos resíduos, globalmente, 33% dos resíduos ainda são destinados a lixões. Os métodos utilizados para a destinação dos resíduos variam de acordo com o nível de renda da região (THE WORLD BANK, 2018).

De acordo com ABRELPE (2020), a única forma correta da destinação dos resíduos sólidos praticada no Brasil é em aterros sanitários. Lixões e

aterros controlados são considerados formas inadequadas para a disposição final dos resíduos, pois não existe a garantia da devida proteção dos aspectos ambientais envolvidos em sua operação. Comparando a destinação dos resíduos dos anos de 2010 e 2019, pode-se verificar que a porcentagem de resíduos destinados incorretamente reduziu apenas 2,7%.

**Figura 1 – Disposição final de RSU no Brasil.**



Fonte: Abrelpe (2020).

A lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 decretava em seu Art. 54º a destinação final ambientalmente correta dos rejeitos, e deveria ser implantada em até 4 (quatro) anos após a data de publicação da Lei, o que não ocorreu. Em 15 de julho de 2020, entrou em vigor a lei nº 14.026, que altera os prazos para atendimento a destinação ambientalmente correta, alterando o texto para (BRASIL, 2010a):

Art. 54º estabelecendo que a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os Municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, nos termos do art. 29 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. (BRASIL, 2010a)

Para os municípios que se encaixam na exceção ficam estabelecidos os seguintes prazos:

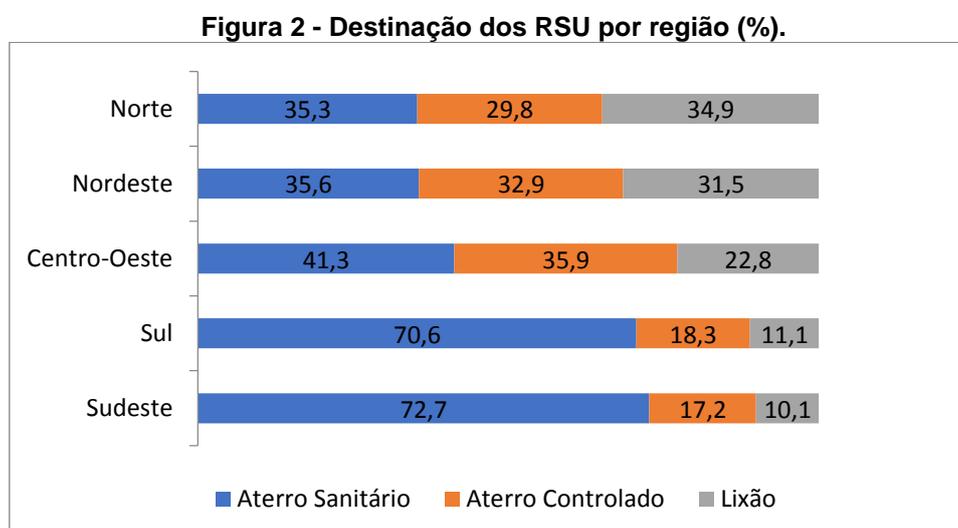
I - até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;

II - até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

III - até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e

IV - até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010. (BRASIL, 2020).

No Brasil, grande parte dos RSU coletados segue para disposição final em aterros sanitários, porém ainda sim uma parte dos resíduos são destinados em aterros controlados e lixões, sendo as regiões norte e nordeste as que destinam inadequadamente a maior porcentagem dos seus resíduos, conforme pode-se observar na Figura 2 (ABRELPE, 2020).



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2020).

### 2.2.2 Destinação em Florianópolis

A destinação dos RSU na cidade de Florianópolis se trata de um problema antigo e complexo. Em 1830, foi aprovada uma lei onde determinava que todos os resíduos sólidos urbanos fossem despejados nos rios e mar como forma de evitar que os resíduos jogados pelos moradores se acumulassem nas

ruas e terrenos. O serviço de coleta de lixo só teve início em 1877, quando era executado por coletores particulares com carroças por tração animal, tendo como destino final as praias da Baía Norte.

Em 1914 foi construído um incinerador próximo a Ponte Hercílio Luz, para acabar com a problemática do acúmulo de materiais nas praias os resíduos eram queimados. O incinerador funcionou por cerca de meio século sendo desativado em 1958 com a criação do lixão do Itacorubi. Os resíduos sólidos desde então começaram a ser despejados no manguezal do Itacorubi em uma área de aproximadamente 12 hectares. O lixão do Itacorubi foi desativado em 1990 (COMCAP, 2013).

Atualmente, todo o resíduo sólido urbano gerado na cidade, é coletado pela COMCAP, por meio de coleta convencional e seletiva. Os materiais coletados por meio da coleta seletiva são direcionados a associações de catadores para serem reciclados, enquanto os resíduos coletados na coleta convencional são direcionados ao aterro sanitário de Biguaçu, cidade distante 40 km de Florianópolis (COMCAP, 2013).

### 2.3 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO A PARTIR DOS RSU

As fontes de energia elétrica existentes são classificadas em renováveis e não renováveis. Define-se como fonte de energia não renovável toda aquela que é finita ou esgotável, como por exemplo, petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear. As renováveis são as consideradas inesgotáveis, pois além de possuírem em grande quantidade no planeta, se renovam constantemente. Pode-se citar como exemplo de fontes de energia renovável, a biomassa, eólica, solar e hídrica. Porém, por mais que sejam consideradas fontes renováveis, pode haver variação na geração ao longo do ano, por exemplo, a energia da fonte hídrica pode, em determinada época do ano, ser impactada pela estiagem em alguns locais, o que faz com que a geração seja abaixo da esperada. A solar, por sua vez, deve ser implantada em locais com maior incidência do sol e, a eólica, deve ser implantada em locais com maior incidência de vento (EPE, 2014).

A utilização de fontes de energias renováveis é considerada a melhor opção para substituição dos combustíveis fósseis na geração de energia, pois

quando comparados a outras fontes energéticas, apresentam redução do uso de produtos derivados do petróleo e causam um menor impacto ambiental. Além disso, em determinados locais, como em comunidades isoladas, as fontes renováveis podem ser alternativas para geração de energia, devido à falta de combustíveis fósseis. Entretanto, todas as fontes de energia, sejam elas renováveis ou não, devem ser aproveitadas de maneira econômica e sustentável, para assegurar sua utilização de forma contínua e segura (GUARDABASSI, 2006).

### **2.3.1 Países que utilizam o RSU para geração de energia elétrica a partir da incineração**

Estados Unidos, Japão, assim com países membros da União Europeia, China, Coreia do Sul e Índia, utilizam o tratamento térmico de resíduos para a geração de energia, dentre eles, a incineração. Aproximadamente 90% das Usinas de tratamento térmico desses países utilizam a incineração como método para o aproveitamento energético dos RSU, também conhecida como *mass burning*. Porém a hierarquia dos resíduos imposta pelos países procura inicialmente incentivar a população a adotar medidas que visem à redução da geração dos resíduos, assim como o reuso, a reciclagem e a compostagem e, por último, se utilizam da técnica de incineração e geração de energia (HOLTZ; SCHMITKE, 2019).

### **2.3.2 Incineração**

Apesar de ser tratar de uma tecnologia conhecida em todo o mundo, desde o século XVII, no Brasil a incineração *in natura* dos resíduos ainda corresponde a uma modalidade complementar ao aterramento e aos programas relacionados com os princípios conhecidos como 3 R's (Reduzir na fonte, Reutilizar e Reciclar), na medida em que estes sejam economicamente viáveis localmente. Relatos de Morgado e Ferreira (2006) apontam que no Brasil o primeiro incinerador foi instalado em 1896 em Manaus com capacidade de processamento de aproximadamente 60 toneladas de RSU por dia, tendo suas atividades encerradas em 1958 por problemas de manutenção.

Conceição (2005) constatou que a quantidade de RSU incinerado no Brasil é de aproximadamente 0,01%, sendo que alguns países como Suécia, França, Japão chegam a incinerar mais de 30% de seus RSU. A aplicação da incineração no Brasil é utilizada com maior frequência no tratamento de resíduos de saúde e industrial. Estima-se que aproximadamente 37% dos resíduos sólidos gerados do serviço de saúde no país tem como destino final a incineração (ABRALPE, 2013). Devido à utilização da incineração para resíduos provenientes da saúde no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) editou a resolução nº 264 de 1999, que dispõe dos critérios, procedimentos e aspectos técnicos, especificamente para o licenciamento da atividade (CONAMA, 2000).

A denominação da tecnologia utilizada atualmente para a recuperação energética a partir da incineração dos resíduos sólidos é *Waste to Energy* (WTE). Existe outro tipo de incineração que não prevê a recuperação energética, denominada de incineração dedicada, que consiste apenas na queima do resíduo sem a geração de energia (SANTOS, 2011).

Gutberlet (2011) aponta alguns impactos negativos da incineração que precisam ser considerados na discussão do seu uso. Destacando, a produção de elevado volume de cinzas tóxicas resultante da incineração, liberação de gases tóxicos da combustão de resíduos, a reiteração da exploração de matérias virgens para a geração de novos produtos de consumo, continuando assim a extração de recursos naturais e a geração dos impactos ambientais destes processos, a perda da oportunidade de se criar uma sociedade mais consciente, na qual prevaleça o consumo responsável e a diminuição do desperdício, a omissão da oportunidade para o desenvolvimento social com a opção de gerar emprego e possibilitar o desenvolvimento humano dos segmentos que hoje estão excluídos ou permanecem na pobreza.

Ainda no que se refere às desvantagens da incineração de resíduos, o Greenpeace (2011) indica que as pessoas que vivem próximo aos incineradores estão expostas a compostos que podem contaminá-las através do ar ou consumo de produtos agrícolas produzidos nas proximidades da usina, bem como a partir do contato com o solo contaminado. Em diversos países da Europa e Ásia (Reino Unido, Espanha, Holanda, Alemanha e Japão) foram encontrados aumentos consideráveis nos níveis de dioxinas nos tecidos

de indivíduos que vivem nas proximidades de incineradores, provavelmente como resultado da exposição.

No entanto, com o aumento do custo do aterro e o crescimento da busca de novas formas de tratamento dos RSU, ressurgiu a ideia de incineração como uma tecnologia limpa para o tratamento dos resíduos sólidos e geração de energia. Em 2009 no Fórum Econômico Mundial, a incineração foi considerada um dos setores emergentes e sendo tratada como alternativa econômica e eficiente, com o argumento de que é necessária pouca mão de obra e ainda gera créditos de carbono. Porém ainda se trata de um assunto que envolve controvérsias entre ambientalistas e defensores dessa tecnologia. (GUTBERLET, 2011).

Em concordância com o que defende Gutberlet (2011), Morgado e Ferreira (2006) citam que são diversos os sistemas de tratamento de RSU utilizados atualmente, cada um com suas técnicas diferentes, citando dentre elas: compostagem, reciclagem e incineração. Esses autores, mediante a estudos, concluíram que o processo da incineração diminui o volume dos resíduos em cerca de 90% e o peso a 15%, sendo que, além disso, ainda tem uma vantagem muito importante que é a geração de energia elétrica a partir da incineração dos RSU. A incineração dos RSU utiliza a alta temperatura de fornos para queimar os resíduos, que entram em completa combustão. Garantindo o tratamento sanitário e a completa destruição de componentes orgânicos, bem como a minimização da presença de resíduos combustíveis nas cinzas que restam.

Além das vantagens apresentadas, a incineração de RSU é economicamente vantajosa, tanto para o poder privado, quanto para o público, uma vez que as indústrias poderiam contar com uma fonte permanente e alternativa de suprimento de energia, sendo, também, uma opção para a disposição final dos resíduos não perigosos gerados por elas. Adicionalmente, teriam ganhos econômicos decorrentes dessa nova forma de disposição dos resíduos e geração de energia. Para os municípios, a economia seria mais notável, visto que conseguiriam evitar grande parte dos gastos com a implantação e a operação de aterros sanitários, melhorariam o tráfego urbano pela diminuição das viagens e distâncias percorrida por caminhões de coletas e

ainda poderiam criar parcerias público-privadas diminuindo os custos das prefeituras na gestão dos resíduos sólidos (QUEZADO, 2010).

Existem estudos para a implantação de plantas de incineração no Brasil, sendo que a ABREN confirmou inscrição de 12 projetos de usinas de recuperação energética no Leilão A-5 de 2021, totalizando 315 MW de potência instalada (ABREN, 2021).

A Ciclus Ambiental, responsável pelo transporte, tratamento e destinação final de resíduos do Rio de Janeiro, em maio de 2019 obteve licença prévia (LP) para a construção de uma usina WTE. A planta prevê tratamento térmico de 1.300 toneladas de resíduos por dia e com capacidade de 30 MW de potência. A América do Sul ainda não possui nenhuma usina WTE, portanto, a usina do Rio poderia ser a primeira do continente (FERNANDES, 2019).

Em Mauá, cidade localizada na região da Grande São Paulo, há um projeto em estudo para a implantação de uma Usina de Recuperação Energética (URE) a planta terá capacidade para tratamento de 3.000 toneladas de resíduos por dia, e potência de instalação de 77 MW (ROMEU, 2019).

Ainda, no estado de São Paulo, mais precisamente na região da baixada santista, existe o projeto para implantação da URE Valoriza Santos, com capacidade de geração de 50 MW e tratamento térmico de 2.000 toneladas de resíduos por dia, de acordo com o estudo apresentado a energia gerada é capaz de atender uma cidade de 250.000 habitantes (VALORIZA, 2020).

### **3 METODOLOGIA**

Para elaboração deste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica que inclui legislações vigentes e levantamento de um breve panorama dos RSU gerados no município de Florianópolis.

#### **3.1 COLETA DE DADOS**

O levantamento da situação atual de geração dos RSU na Cidade foi realizado por meio de informações fornecidas no residuômetro disponível na página eletrônica da COMCAP, o qual fornece os dados dos resíduos gerados

no município por data, tipo de resíduo e quantidade. Adicionalmente, foram utilizados artigos e estudos, realizados em parceria com a COMCAP e a Prefeitura Municipal de Florianópolis, os quais contêm informações sobre geração, disposição e programas que visam à educação da população e a conscientização para a redução da geração dos resíduos.

Para análise do impacto do turismo na geração e resíduos sólidos urbanos no município de Florianópolis, foram estabelecidos critérios sazonais de geração, ou seja, os dados foram separados de acordo com a estação climática, sendo de 21 de Dezembro a 20 de Março o Verão, de 20 de Março a 20 de Junho o Outono, de 20 de junho a 22 de setembro o Inverno e de 22 de setembro a 21 de dezembro a Primavera.

Em 17 de Março de 2020, foi declarada no estado de Santa Catarina situação de emergência para fins e combate à epidemia do COVID-19, doença infecciosa viral, com a orientação de manter o distanciamento social e realização de *Lockdown* determinado pelo governo do Estado (SANTA CATARINA, 2020).

Por esse motivo e possibilidade do impacto da pandemia da geração de resíduos nos meses de veraneio, foi feito o estudo tanto com os dados referentes à geração dos resíduos do ano de 2017/2018 como com os dados de 2019/2020, de modo a permitir uma melhor visualização do número de resíduos gerados em um ano com e sem o impacto da pandemia.

No Quadro 3 está apresentado a quantidade de RSU gerado em Florianópolis nos anos do estudo.

**Quadro 3 – Quantidade de RSU Gerado em Florianópolis em 2019/2020 (2017/2018) (Kg).**

	Verão	Outono	Inverno	Primavera
<b>Rejeitos</b>	55.588.130 (55.737.670)	40.813.550 (47.017.640)	44.986.300 (44.138.690)	47.517.370 (47.399.830)
<b>Rejeitos de Coleta Seletiva</b>	760.220 (787.790)	249.330 (583.720)	678.970 (550.440)	699.100 (597.080)
<b>Madeiras - Rejeitos</b>	91.960 (138.460)	69.000 (195.700)	33.880 (373.890)	10.760 (164.030)
<b>Construção Civil</b>	227.630 (N/A)	83.110 (N/A)	623.040 (12.830)	377.960 (38.340)
<b>Podas – Rejeitos</b>	10.220 (N/A)	47.640 (N/A)	32.000 (N/A)	13.280 (N/A)
<b>TOTAL</b>	56.678.160 (56.663.920)	41.262.630 (47.797.060)	46.354.190 (45.075.850)	48.618.470 (48.199.280)

Fonte: Adaptado de Comcap (2021).

Atualmente a cidade de Florianópolis conta com a coleta convencional e seletiva e, ainda, possui pontos de descarte para resíduos orgânicos, caso a população tenha interesse em segregar e descartar para a utilização dos mesmos no processo de compostagem.

Os rejeitos apresentados na composição gravimétrica disponível no site da COMCAP (2021) são a somatória de todos os resíduos coletados no sistema convencional de coleta na cidade de Florianópolis, os quais não passam por qualquer segregação e são enviados diretamente para o aterro sanitário localizado na cidade de Biguaçu.

A classificação e caracterização dos resíduos provenientes da coleta convencional utilizada nesse estudo têm como base as informações constantes no PMCS de 2016 realizado pela Prefeitura de Florianópolis como apresentado no Quadro 1. Foi verificado o percentual do aumento de aproximadamente 22% da geração total dos rejeitos do ano de 2016, 2017/2018 e 2019/2020. A partir desse percentual, realizou-se a projeção das quantidades de cada resíduo gerado de acordo com sua classificação e caracterização.

### 3.2 CENÁRIOS ANALISADOS

Mesmo o estudo visando à incineração apenas dos resíduos que hoje são considerados rejeitos e dispostos no aterro sanitário, se verificou uma parcela de materiais que poderiam ser segregados e reciclados. GUTBERLET (2011) inviabiliza o processo de incineração, pois de acordo com seu estudo, a incineração além de tirar a possibilidade do aproveitamento dos resíduos, já que o material incinerado é perdido, dificulta a implantação do processo da logística reversa, além de retirar a renda de catadores e outras pessoas e segmentos que já trabalham com a reciclagem e tratamento dos resíduos.

Por esse motivo, o estudo foi realizado considerando dois cenários, onde diferentes alternativas de recuperação foram analisadas. Sendo eles:

- 1º cenário: calcular o potencial de geração de energia elétrica a na cidade de Florianópolis, incinerando 100% dos RSU que hoje são classificados como rejeitos e tem como sua destinação final o aterro de Biguaçu;

- 2º cenário: calcular o potencial de energia elétrica gerada pelo RSU segregando todo o material reciclável presente nos rejeitos, de forma que a incineração não afete os coletores e a implantação da logística reversa.

### 3.3 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E VERIFICAÇÃO DA QUANTIDADE DE RESIDÊNCIAS ATENDIDAS

Para obtenção do potencial de geração de energia elétrica a partir da incineração dos RSU, foram utilizados como base os dados levantados referentes à geração sazonal dos resíduos sólidos na cidade de Florianópolis, juntamente com os dados obtidos nas pesquisas bibliográficas sobre a eficiência da produção de energia elétrica dos incineradores em fase de estudo para implantação (FERNANDES, 2019; ROMEU, 2019 e VALORIZA, 2020).

O Quadro 4 apresenta a capacidade de tratamento de resíduos por tonelada/dia e suas potências instaladas, em três das doze usinas de recuperação energética que se encontram em estudo no Brasil, sendo duas localizadas no estado de São Paulo nas cidades de Mauá e Santos e uma no Rio de Janeiro, conforme os autores Fernandes (2019) Romeu (2019) e Valoriza (2020), respectivamente. Essas informações foram utilizadas para a realização da estimativa da geração de energia elétrica na cidade de Florianópolis.

**Quadro 4 – Capacidade dos projetos em estudo para implantação.**

Cidade	Estado	Capacidade de Tratamento t/dia	Produção de potência bruta MW	Geração de Energia (MWh/dia)	Geração de Energia (MWh/t)	Capacidade de Geração de Energia (kWh/t)
Rio de Janeiro	RJ	1.300	30	720,00	0,55	554,85
Mauá	SP	3.000	77	1848,00	0,62	616,00
Santos	SP	2.000	50	1200,00	0,60	600,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Para a comparação da caracterização dos rejeitos presentes nos RSU gerados em Florianópolis com a realidade das cidades onde existem os estudos para a implantação das usinas de incineração visando o aproveitamento energético dos resíduos, foram reunidos os dados apresentados pelo PMCS de Florianópolis com os dados obtidos nos Planos

Municipais de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (PMGRS) das cidades onde estão previstas as implantações das WTE, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2 – Comparação da Gravimetria dos RSU Gerados em Florianópolis/SC, Santos/SP e Rio de Janeiro/RJ.**

RSU Gerados	Porcentagem Presente (%)		
	Florianópolis/SC	Rio de Janeiro/RJ	Baixada Santista/SP
Orgânicos	36,21	47,33	40,40
Papel/Papelão	14,37	14,63	10,80
Tetrapack	1,29	-	1,30
Plásticos	17,71	15,72	20,30
Vidro	3,19	3,58	2,50
Metais	2,48	1,75	2,00
Madeira	0,49	0,54	1,00
Têxteis, couro, trapos	4,16	2,67	4,80
Tóxicos, Infectantes	0,46	N/A	0,10
Fraldas e Lixo Sanitário	16,43	7,77	15,80
Resíduos da Construção Civil	0,87	-	0,00
Borracha	0,48	0,33	0,90
Eletrônicos	0,62	0,44	0,10
Outros	0,01	5,24	0,00
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Adaptado de PMF (2016), AGEM (2018) e DATA.RIO (2020).

Não foi possível localizar a gravimetria dos resíduos sólidos gerados na cidade de Mauá para a comparação dos dados, por esse motivo, foram utilizadas apenas as informações disponibilizadas no PGRS das cidades do Rio de Janeiro e Santos.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, é possível observar que a caracterização dos resíduos sólidos nas cidades apresentadas são similares. Assim, para a realização do presente estudo, utilizaram-se os dados referentes à URE Valoriza Santos, pois é o que mais se assemelha à caracterização e gravimetria da cidade de Florianópolis.

Para realização do cálculo da capacidade de geração de energia, foi verificada a quantidade de toneladas gerada por dia nos meses de verão, outono, primavera e inverno e a capacidade de geração da URE Valoriza Santos por MWh/t que é de 0,60.

De posse da estimativa do potencial de energia elétrica produzida na incineração dos RSU, a partir dos dados fornecidos pela Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), empresa responsável pelo abastecimento

energético na região, foi verificada a quantidade de unidades consumidoras (UCs) que poderiam ser atendidas com a energia gerada na Usina.

#### **4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

De acordo com o informado na metodologia, o estudo se dividiu na análise de dois cenários, sendo o primeiro a utilização de 100% dos resíduos sólidos gerados sendo enviada a incineração e o segundo cenário considerou a segregação dos materiais com potencial à reciclagem e, o restante, enviado para a incineração, considerando os anos de 2017/2018 e 2019/2020.

##### **4.1 ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE 100% DOS REJEITOS GERADOS EM FLORIANÓPOLIS**

Como informado na metodologia, por 2019/2020 se tratar de um ano atípico por conta da Pandemia de Covid-19, foram estudados os dados do ano de 2017/2018 e os resultados foram apresentados se baseando nos dados dos RSU gerados em ambos os anos.

No Quadro 5, está apresentada a quantidade total de rejeitos gerados em Florianópolis e enviados para o aterro no ano de 2019/2020 e 2017/2018 divididos de acordo com a estação climática.

**Quadro 5 – Rejeitos Gerados em Florianópolis em 2019/2020 (2017/2018).**

	Verão	Outono	Inverno	Primavera
<b>Rejeitos</b>	55.588.130	40.813.550	44.986.300	47.517.370
	(55.737.670)	(47.017.640)	(44.138.690)	(47.399.830)
<b>Rejeitos de Coleta Seletiva</b>	760.220	249.330	678.970	699.100
	(787.790)	(583.720)	(550.440)	(597.080)
<b>Madeiras - Rejeitos</b>	91.960	69.000	33.880	10.760
	(138.460)	(195.700)	(373.890)	(164.030)
<b>Construção Civil</b>	227.630	83.110	623.040	377.960
	(N/A)	(N/A)	(12.830)	(38.340)
<b>Podas – Rejeitos</b>	10.220	47.640	32.000	13.280
	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
<b>TOTAL</b>	56.678.160	41.262.630	46.354.190	48.618.470
	(56.663.920)	(47.797.060)	(45.075.850)	(48.199.280)
<b>Quantidade de dias</b>	89	90	92	89
	(89)	(91)	(91)	(89)
<b>Geração Kg/dia</b>	636.833,26	458.473,67	503.849,89	546.274,94
	(636.673,26)	(525.242,42)	(495.339,01)	(541.564,94)
<b>Geração T/dia</b>	637	458	504	546
	(637)	(525)	(495)	(542)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com base nos dados recolhidos no residuometro (Quadro 5), considerando o potencial de geração da URE Valoriza Santos, foi verificada qual é a capacidade de geração energética a partir da incineração dos resíduos sólidos urbanos gerados na cidade de Florianópolis.

A Tabela 3 apresenta a quantidade de resíduos geradas em tonelada e a capacidade de geração de energia total em MWh.

**Tabela 3 – Incineração de 100% dos Rejeitos Gerados em Florianópolis 2019/2020 (2017/2018).**

Estação do Ano	Quant. Gerada (t)	Quant. Gerada (dia/t)	Geração de Energia (MWh/dia)	Geração de Energia (MWh/total)	Geração de Energia (GWh/total)
Verão	56.678	637	382,10	34.006,90	34,01
	(56.664)	(637)	(382,00)	(33.998,35)	(34,00)
Outono	41.263	458	275,08	24.757,58	24,76
	(47.797)	(525)	(315,15)	(28.678,24)	(28,68)
Inverno	46.354	504	302,31	27.812,51	27,81
	(45.076)	(495)	(297,20)	(27.045,51)	(27,05)
Primavera	48.618	546	327,76	29.171,08	29,17
	(48.199)	(542)	(324,94)	(28.919,57)	(28,92)
<b>Total</b>	<b>192.913</b>	-	-	<b>115.748,07</b>	<b>115,75</b>
	<b>(197.736)</b>			<b>(118.641,67)</b>	<b>(118,64)</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De acordo com a Tabela 3, observa-se que no ano de 2018/2019 a capacidade de geração de energia no verão foi de 33.998,35 KW/h, no outono de 28.678,24 KW/h, no inverno de 27.045,51 KW/h e na primavera de 28.919,57KW/h, totalizando o valor de 118.641,67KW/h considerando de 21 de dezembro de 2017 a 21 de dezembro de 2018. Já no ano de 2019/2020, podemos observar que o número de resíduos gerados foi menor que em 2017/2018, impactando diretamente a capacidade de geração de energia, a redução aproximada foi de 2,5%, e essa redução pode ser devido à pandemia.

#### 4.2 ANÁLISE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS REJEITOS GERADOS EM FLORIANÓPOLIS, SEGREGANDO MATERIAS RECICLAVEIS.

No Quadro 6, apresenta-se a caracterização dos resíduos gerados em Florianópolis nos anos de 2017/2018 e 2019/2020, considerando a caracterização realizada no estudo da Prefeitura Municipal de Florianópolis em conjunto com a COMCAP.

**Quadro 6 – Caracterização dos resíduos de acordo com PMF (2016), projetando as quantidades para os anos de estudo.**

<b>Caracterização</b>	<b>2017/2018 Total (Kg)</b>	<b>2019/2020 Total (Kg)</b>	<b>Porcentagem Presente (%)</b>
Orgânicos	71.738.450	69.748.880	36,21
Papel/Papelão	28.515.215	27.724.383	14,37
Tetrapack	2.551.038	2.480.288	1,29
Plásticos	35.148.718	34.173.916	17,71
Vidro	6.325.814	6.150.376	3,19
Metais	4.925.429	4.788.829	2,48
Madeira	754.397	733.475	0,49
Têxteis, couro, trapos	8.248.512	8.019.751	4,16
Tóxicos, Infectantes	913.815	888.472	0,46
Fraldas e Lixo Sanitário	32.601.509	31.697.350	16,43
Resíduos da Construção Civil	372.318	361.992	0,87
Borracha	943.905	917.727	0,48
Eletrônicos	1.225.596	1.191.606	0,62
Outros	29.111	28.304	0,01
<b>Total</b>	<b>194.293.830</b>	<b>188.905.350</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado de PMF (2016).

Na Tabela 4, estão relacionadas às quantidades de rejeitos enviados a incineração, desconsiderando os resíduos com potencial a reciclagem, como plástico, papel/papelão, vidro, metal, tetrapack entre outros, e incinerando

apenas os materiais orgânicos, resíduos sanitários e fraldas, rejeitos de madeira e rejeitos da coleta seletiva que são materiais que por algum motivo não podem ser reutilizados ou reciclados.

**Tabela 4 – Total de resíduos enviado a incineração em 2019/2020 (2017/2018).**

	Verão	Outono	Inverno	Primavera
<b>Resíduo Orgânico</b>	20.534.836 (20.579.830)	15.117.088 (17.360.163)	16.642.139 (16.297.178)	17.557.957 (17.501.278)
<b>Madeiras - Rejeitos</b>	91.960 (138.460)	69.000 (195.700)	33.880 (373.890)	10.760 (164.030)
<b>Rejeitos de Coleta Seletiva</b>	760.220 (787.790)	249.330 (583.720)	678.970 (550.440)	699.100 (597.080)
<b>Fraldas e Lixo Sanitário</b>	9.327.403 (9.352.496)	6.848.305 (7.889.319)	7.548.471 (7.406.246)	7.973.171 (7.953.449)
<b>Total</b>	30.714.420 (30.858.576)	22.283.723 (26.028.903)	24.903.459 (24.627.755)	26.240.988 (26.215.837)
<b>Quantidade de dias</b>	89 (89)	90 (91)	92 (91)	89 (89)
<b>Geração Kg/dia</b>	345.105,84 (346.725,57)	247.596,92 (286.031,90)	270.689,78 (270.634,67)	294.842,57 (294.559,96)
<b>Geração T/dia</b>	345 (347)	248 (286)	271 (271)	295 (295)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Considerando os resíduos gerados em Florianópolis e segregando aqueles que têm potencial a reciclagem, elaborou-se a Tabela 5, que apresenta-se a quantidade (toneladas) de resíduos sólidos urbanos gerados em Florianópolis e o potencial de geração de energia elétrica correspondente, considerando a sazonalidade e os períodos de 19/20 e 17/18.

**Tabela 5 - Incineração dos rejeitos gerados em Florianópolis desconsiderando materiais recicláveis 2019/2020 (2017/2018).**

Estação do Ano	Quant. Gerada (t)	Quant. Gerada (dia/t)	Geração de Energia (MWh/dia)	Geração de Energia (MWh/total)	Geração de Energia (GWh/total)
Verão	30.714	345	207,06	18.428,65	18,43
	(30.859)	(347)	(208,04)	(18.515,15)	(18,52)
Outono	22.284	248	148,56	13.370,23	13,37
	(26.029)	(286)	(171,62)	(15.617,34)	(15,62)
Inverno	24.903	271	162,41	14.942,08	14,94
	(24.628)	(271)	(162,38)	(14.776,65)	(14,78)
Primavera	26.241	295	176,91	15.744,59	15,74
	(26.216)	(295)	(176,74)	(15.729,50)	(15,73)
<b>Total</b>	<b>104.143</b>	-	-	<b>62.485,55</b>	<b>62,49</b>
	<b>(107.731)</b>	-	-	<b>(64.638,64)</b>	<b>(64,64)</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após a análise do potencial energético da cidade de Florianópolis, segregando os resíduos que podem ser reciclados, foi possível verificar que seria gerado 62.485 MWh no ano de 2019/2010 e 64.638 MWh no ano de 2017/2018.

#### 4.3 DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA PARA ABASTECIMENTO DAS RESIDÊNCIAS

A CELESC, empresa administradora da distribuição elétrica na cidade de Florianópolis, disponibiliza na página eletrônica da empresa uma planilha com os dados do consumo total mensal de energia elétrica e a quantidade de unidades que são abastecidas, entre as unidades consumidoras separadas em residencial, comercial, industrial, rural, serviços públicos e consumo próprio da administradora. Esses dados são apresentados pelo consumo total em MWh e, além disso, fornecem a quantidade de unidades consumidoras que são abastecidas.

Com os dados disponibilizados pela CELESC, e com a capacidade de geração MWh/total calculada e apresentada na Tabela 3, considerando a incineração de 100% dos rejeitos coletados da cidade de Florianópolis nos anos de estudo,

**Tabela 6 – Quantidades de UC atendidas a partir da incineração.**

Ano	Consumo (MWh)	Quant. Total de UC	Consumo médio MWh por UC	Geração de Energia Total (MWh/total)	Quantidade de UC atendidas pela URE	Porcentagem de UC atendidas pela URE (%)
2019/2020	686.321,68	2.874.648	0,24	115.748,07	489.421	17
2017/2018	616.749,58	2.768.255	0,22	118.641,67	538.144	19

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Verificou-se a quantidade de unidades consumidoras (UC) que a usina WTE seria capaz de atender com a energia gerada, observando a capacidade de geração de energia, considerando a reciclagem dos resíduos aptos, dados já apresentados anteriormente na Tabela 5 e utilizando a planilha disponibilizada pela Celesc, pode-se estimar a quantidade de residências que poderiam ter sido atendidas caso a incineração dos resíduos sólidos urbanos com cogeração em energia elétrica, estivesse implantada na cidade nos anos de 2019/2020 e 2017/2018.

**Tabela 7 – Quantidades de UC atendidas a partir da incineração considerando a reciclagem.**

Ano	Consumo (MWh)	Quant. Total de UC	Consumo médio MWh por UC	Geração de Energia Total (MWh/total)	Quantidade de UC atendidas pela URE	Porcentagem de UC atendidas pela URE (%)
2019/2020	686.321,68	2.874.648	0,24	62.485,55	264.154	9
2017/2018	616.749,58	2.768.255	0,22	64.638,64	293.529	11

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

#### 4.4 COMPARANDO OS RESULTADOS E DISCUTINDO-OS

Compilados todos os dados obtidos, para comparação e discussão dos mesmos de forma eficiente, elaborou-se a Tabela 8 que apresenta a quantidade total dos resíduos incinerados em tonelada, a capacidade total de geração em MW/h e a quantidade de residências que poderiam ser atendida, todos os dados separados pelo ano e cenário de estudo.

**Tabela 8 – Dados obtidos considerando a incineração de todos os resíduos e (incineração com reciclagem).**

Ano	Resíduos incinerados (t)	Média de Geração de Resíduo (t/dia)	Capacidade total de geração (MWh)	Quant. De residências atendidas
2017/2018	197.736	550	118.641,67	538.144
	(107.731)	(299)	(64.638,64)	(293.529)
2019/2020	192.913	536	115.748,07	489.421
	(104.143)	(290)	(62.485,55)	(264.154)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No período de 21 de dezembro de 2017 a 21 de dezembro de 2018, incinerando todos os resíduos coletados, o potencial energético dos RSU de Florianópolis seria de 118.641,67 MWh, energia suficiente para abastecer 538.144 residências, o que corresponde a aproximadamente 19% da demanda da cidade. No período de 21 de dezembro de 2019 a 21 de dezembro de 2020, os números diminuiram cerca de 2%, fato que pode ser dado por conta do impacto da pandemia no turismo e conseqüentemente na redução do número de turistas na cidade, no ano o potencial energético dos resíduos sólidos foi de 115.748,07 MWh, suficiente para abastecer 17% das residências que hoje se utilizam da energia fornecida pela Celesc.

Considerando a realização do processo da separação dos resíduos com potencial reciclável como o papel, plástico, metal e outros, e incineração do material restante, verifica-se que os números reduzem aproximadamente 46%

em ambos os anos estudados, porém ainda sim, é viável a utilização dos resíduos para a geração de energia elétrica. Nos períodos referentes aos anos de 2017/2018, a energia elétrica gerada seria capaz de abastecer 293.529 residências, e em 2019/2020 abasteceria cerca de 11% das unidades consumidora.

Menezes e Gerlach (2000), sugere que a geração de energia elétrica a partir de RSU se torna viável apenas em instalações com capacidade de processamento acima de 250 toneladas por dia, pois plantas com capacidade inferior utilizaria a energia apenas para uso próprio da usina. Levando em consideração esses valores no caso de Florianópolis, que gera algo em média de 195 mil toneladas de resíduos por ano e aproximadamente 500 toneladas por dia, percebe-se novamente a viabilidade da instalação de uma usina na cidade e a capacidade de comercialização da energia gerada. Um ponto de extrema importância a ser destacado e que é ressaltado por Caixeta (2005), refere-se ao fato de que o objetivo principal da incineração não é a geração de energia e sim o tratamento do RSU, sendo a recuperação energética apenas o subproduto gerado, por esse motivo deve-se manter a conscientização da população com o que trata o Art. 35º do decreto nº 7.404/2010, que deve ser priorizada a não geração, redução, reutilização, reciclagem, sendo priorizada ao máximo a redução da geração de RSU (Brasil, 2010a).

De acordo com estudo realizado por GUTBERLET (2011), a incineração dos resíduos foi tratada como inviável, pois tira a possibilidade da implantação de logística reversa, e impacta a renda de pessoas que trabalham com a reciclagem. Porém no presente artigo, foi verificada a viabilidade da instalação da URE segregando os materiais recicláveis antes da incineração, mantendo assim a política da logística reversa e a renda das pessoas que trabalham com os resíduos recicláveis. Ainda, no que se trata das pessoas que dependem da renda gerada pelos materiais recicláveis, com a implantação de programas de segregação dos materiais dentro da própria usina, seria uma alternativa para o aumento de renda dessas pessoas, visto que, hoje os resíduos não estão sendo segregados na fonte e para a segregação dos materiais antes da incineração seria necessário à utilização de mão de obra.

De acordo com os dados apresentados, pode-se concluir que mesmo com o impacto da pandemia e considerando a projeção do crescimento

populacional e consequente aumento da geração de RSU e demanda por energia elétrica, os resultados deste trabalho sinalizam a viabilidade da instalação de uma planta de incineração de RSU com recuperação energética na cidade de Florianópolis.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a análise de ambos os cenários realizados no artigo foi possível verificar que tanto a incineração de todos os RSU gerados em Florianópolis quanto à incineração apenas dos resíduos que não podem ser reciclados, apresentam-se como uma técnica apta a ser utilizada e este é um fato de grande importância a ser destacado, pois por mais que a redução dos resíduos quando segregados e enviados para a reciclagem seja de aproximadamente 46%, a usina ainda é considerada viável.

Sem a realização do aproveitamento energético desses resíduos, são perdidos aproximadamente 117.195 MWh de energia por ano se considerada a incineração de 100% dos resíduos gerados, ou aproximadamente 63.562 MWh de energia e 90 mil toneladas de resíduos que poderiam ser reciclados por ano, se considerado o cenário da segregação dos resíduos antes da incineração.

A implantação de uma usina com a finalidade do reaproveitamento energético a partir da incineração dos RSU gerados em Florianópolis apresentou-se viável de acordo com o estudo realizado, pois além de diminuir a quantidade de resíduos que são enviados ao aterro, se optado pelo cenário de segregação do material antecedendo a incineração, 46% dos RSU seriam reciclados e, no mínimo, 250 mil residências seriam abastecidas com a energia gerada na planta.

Para estudos futuros, sugere-se a realização de análise do poder calorífico inferior (PCI) dos principais resíduos encontrados na capital, de modo que seja apresentado um resultado fiel do potencial de geração de energia elétrica a partir da incineração, sugere-se também a atualização do plano municipal de coleta seletiva no que se refere à caracterização dos resíduos sólidos da coleta convencional e seletiva, pois pode haver alterações da gravimetria dos rejeitos.

## 6 AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a minha mãe Elane Maria da Silva (in memoriam), que sempre foi a minha base, a pessoa mais importante da minha vida, minha fonte eterna de inspiração, a quem eu devo a pessoa que sou hoje.

E a minha irmã Renata Patrícia Pereira, por me inspirar diariamente em sua força, por me dar o apoio necessário em todos os momentos da minha vida e simplesmente por ser minha irmã, pois sem ela nada seria possível e nada valeria a pena. Amo vocês mais que tudo no mundo, e vocês duas são as melhores coisas que tenho na vida.

Ao meu namorado Lucas Oliveira Gomes, pela sua paciência nos momentos difíceis durante a faculdade, por me incentivar a concluir essa jornada e por sempre estar ao meu lado.

Aos meus filhos de 4 patas, Bud e Stella, que em todos os momentos que eu me encontrava desanimada, estavam ali, ao meu lado me confortando com seus olhares e lambidas.

As minha amigas Patrícia e Tatieli, que sempre se fazem presentes em todos os momentos da minha vida me ajudando, incentivando e sempre vibrando com minhas vitórias.

A todos os mestres que contribuíram com a minha formação acadêmica e profissional durante a minha vida.

Ao meu orientador Ewerthon pelo sua dedicação e paciência durante o projeto. Suas diretrizes fizeram grande diferença no resultado final deste trabalho.

Por último, a Deus por me amparar em todos os momentos e me auxiliar chegar até aqui.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/> Acessado em: 21 de abr. de 2021.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais. **Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos**, 2011. São Paulo – SP: ABRELPE, 2011.

ABREN - Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos. **12 Projetos De Recuperação Energética De Resíduos Foram Inscritos No Leilão A-5 De 2021, Totalizando 315 MW De Potência Instalada**, 2021.

AGEM. AGÊNCIA METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA - **PRGIRS/BS - Plano Regional De Gestão Integrada De Resíduos Sólidos Da Baixada Santista**. Minuta para Audiência Pública, 2018.

BRASIL. **Lei Federal Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm). Acesso em: 20 de abr. de 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei Federal Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010a**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm).

\_\_\_\_\_. **Lei Federal Nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010b**. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos[...]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm).

Acesso em: 4 de abr. de 2021.

\_\_\_\_\_. **Lei Federal Nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) [...]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art11](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art11) Acesso em: 27 de mai. de 2021.

BRITO, A.P. **Análise econômica preliminar da implantação de incinerador de resíduos sólidos urbanos na região de Bauru** / Adailton Pereira de Brito, 2013 85 f.

CASTRO, J. N. C.; NASCIMENTO, N. **Reciclagem: mais que um simples dever, uma grande necessidade.** In: Jornada de Iniciação Científica e Pós-Graduação, Guaratinguetá, 2002.

CAIXETA, D. M. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS.** 2005. 86 f. Monografia de Especialização (Pós-Graduação em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável) – UnB, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2005.

CONCEIÇÃO, M. M. **Os Empresários do Lixo.** 2. ed. Campinas-SP: Átomo, 2005.

COMCAP. COMPANHIA DE MELHORAMENTOS DA CAPITAL. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS Município de Florianópolis / SC.** Florianópolis, 2011.

COMCAP – Companhia de Melhoramentos da Capital. **Relatório de Gestão 2012.** Florianópolis, março de 2013.

COMCAP. COMPANHIA DE MELHORAMENTOS DA CAPITAL. **Coleta e Valorização de Resíduos e Zeladoria Urbana em Florianópolis. Município de Florianópolis/SC.** Florianópolis, 2017. Disponível em: [http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/09\\_06\\_2017\\_12.11.43.af0e82c1945061b23d49cb4f7f8c3dbe.pdf](http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/09_06_2017_12.11.43.af0e82c1945061b23d49cb4f7f8c3dbe.pdf) Acesso em: abril, 2021.

CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 264, de 26 de agosto de 1999, do conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.** “Dispõe sobre o Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos”; publicada no Diário Oficial da União em 20/03/2000; Brasília, DF.

D’ALMEIDA, M. L.; VILHENA A. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370p.

DATA.RIO – Instituto Pereira Passos, **Tabela 1494 - Principais Características do Lixo Domiciliar: Composição Gravimétrica Percentual, Peso específico e Teor de Umidade Segundo as Áreas de Planejamento (AP) do Município do Rio de Janeiro entre 1995-2019.** Rio de Janeiro, 2020.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Rio de Janeiro: EPE, 2014.

FEHR, M. 2010. **The Threshold Target Approach to Waste Management in Emerging Economies: Pragmatic, Realistic, Appropriate.** Federal University at Uberlândia, Brazil. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/221907715\\_The\\_Threshold\\_Target\\_Approach\\_to\\_Waste\\_Management\\_in\\_Emerging\\_Economies\\_Pragmatic\\_Realistic\\_Appropriate](https://www.researchgate.net/publication/221907715_The_Threshold_Target_Approach_to_Waste_Management_in_Emerging_Economies_Pragmatic_Realistic_Appropriate)

FERNANDES, M. **Ciclus Ambiental Obtém Licença Para Usina De Geração De Energia Por Resíduos Que Reduz Em 14% Volume Do Lixo Do Rio E Gera Energia Para 200 Mil Habitantes.** 2019. Disponível em: <https://www.plurale.com.br/site/noticias-detahes.php?cod=16813&codSecao=>. Acesso em: 15 jun. 2021.

FLORIANÓPOLIS, 1971. **Lei Municipal Nº 1022/71.** Cria “Companhia Melhoramentos da Capital”, e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/lei-ordinaria/1971/103/1022/lei-ordinaria-n-1022-1971-cria-companhia-melhoramentos-da-capital-comcap-e-da-outras-providencias?q=1022>.

GREENPEACE, 2011. **Incineração E Saúde Humana: Estudo Do Conhecimento Sobre Os Impactos Da Incineração Saúde Humana.** Disponível em: [http://greenpeace.org.br/toxicos/pdf/sumario\\_exec\\_health.pdf](http://greenpeace.org.br/toxicos/pdf/sumario_exec_health.pdf). Acesso em: 27 mai. 2021.

GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia perspectivas para países em desenvolvimento.** 2006. 123p. Tese (Mestrado) - Energia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GUTBERLET, J. **O custo social da incineração de resíduos sólidos: recuperação de energia em detrimento da sustentabilidade.** Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011, Costa Rica II Semestre, 2011.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social.** Ciência & Saúde Coletiva. Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, pp. 1503-1510, Jun, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/csc/v17n6/v17n6a14.pdf>

HOLTZ, A.; SCHMITKE, Y. **Para uma melhor consideração e incentivo às Usinas Waste-to-Energy.** Agência Canal Energia. Rio de Janeiro, 30 de Setembro de 2019.

MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A.. **Estágio atual da incineração no Brasil.** VII Seminário Nacional de resíduos sólidos e limpeza pública, p. 3-7, 2000.

MORGADO, C. T & FERREIRA, O. M (2006). **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Co-Geração de Energia. Estudo Para a Região Metropolitana de Goiânia.** Goiânia: 2006.

PMF. PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Plano Municipal de Coleta Seletiva.** Relatório Parcial 2 – Caracterização dos Resíduos Sólidos da Coleta Convencional e Seletiva, 2016.

\_\_\_\_\_. **RESIDUÔMETRO Meio Ambiente disponibiliza informações em tempo real,** 2021. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/noticias/index.php?pagina=notpagina&noti=23087>

QUEZADO, L. H. N. **Avaliação De Tecnologias Para Aproveitamento Energético Dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Monografia (Graduação), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

ROMEU, M. T. **Protocolo de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA**. 2019. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/eiarima/eia/EIA\\_224\\_2019.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/eiarima/eia/EIA_224_2019.pdf).

SANTA CATARINA, Constituição (2020), **Decreto Nº 515, De 17 De Março De 2020**. Disponível em: [https://www.saude.sc.gov.br/coronavirus/arquivos/decreto\\_515\\_17\\_03\\_20.pdf](https://www.saude.sc.gov.br/coronavirus/arquivos/decreto_515_17_03_20.pdf). Acesso em: 23 de jun. 2021.

SANTOS, G. G. D. D. **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: O Caso da Incineração e da Disposição em Aterros**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

SUSKI, C. A., & LUIZ, B. V. (2019). **Análise de ciclo de vida dos processos de valorização de resíduos sólidos domiciliares em Florianópolis (SC) para redução de gases de efeito estufa**. Metodologias E Aprendizado, 2, 35 - 39. Disponível em: <https://doi.org/10.21166/metapre.v2i0.1299>

THE WORLD BANK, 2018. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1329-0. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO

VALORIZA. 2020. **Relatório Impacto Ambiental – RIMA**. URE Valoriza Santos Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração de Energia.