



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**HENRIQUE GONÇALVES MENDES**

**ISOLANTES SUSTENTÁVEIS:**  
**ESTUDO PARA VIABILIDADE DE FABRICAÇÃO DE ISOLANTE TÉRMICO E**  
**ACÚSTICO A PARTIR DOS RESÍDUOS DE LÃ DE ROCHA E DE POLIURETANO**

**Tubarão**  
**2017**



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**HENRIQUE GONÇALVES MENDES**

**ISOLANTES SUSTENTÁVEIS:**  
**ESTUDO PARA VIABILIDADE DE FABRICAÇÃO DE ISOLANTE TÉRMICO E**  
**ACÚSTICO A PARTIR DOS RESÍDUOS DE LÃ DE ROCHA E DE POLIURETANO**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Prof. Dra. Maria Ana P. M. Martins (Orientadora)

Tubarão

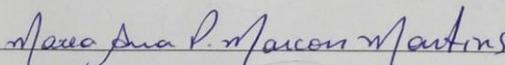
2017

HENRIQUE GONÇALVES MENDES

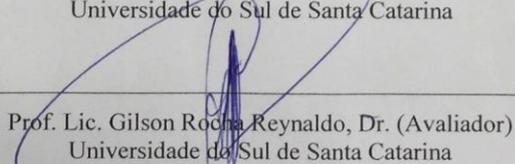
ISOLANTES SUSTENTÁVEIS:  
ESTUDO PARA VIABILIDADE DE FABRICAÇÃO DE ISOLANTE TÉRMICO E  
ACÚSTICO A PARTIR DOS RESÍDUOS DE LÃ DE ROCHA E DE  
POLIURETANO

Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

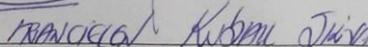
Tubarão, 29 de novembro de 2017.



Prof. Eng. Maria Ana Pignatelli Marcon Martijns, Dra. (Orientadora)  
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Lic. Gilson Rocha Reynaldo, Dr. (Avaliador)  
Universidade do Sul de Santa Catarina



Profª. Eng. Francielen Kuball Silva, MSc (Avaliadora)  
Universidade do Sul de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao grande criador do Universo, pelo dom da vida. Agradeço a minha família, minha mãe Maria Salete, por ser minha base, por ser a motivadora dos meus sonhos e pelos princípios éticos transmitidos através dos seus ensinamentos. Aos meus irmãos, Edilaine e Rodnei, pelo carinho e a preocupação que comigo tiveram durante todo o tempo. Aos meus sobrinhos e aos outros familiares também enfatizo a importância de todos para o meu crescimento pessoal, e peço desculpas pelo tempo que estive ausente para poder concluir meus sonhos.

Presto meus agradecimentos a Geraldo Alves e SaideRahim pela oportunidade de estágio, que além de me proporcionarem conhecimento técnico, mostraram-me através de exemplos a ser um profissional humilde e ético.

À minha orientadora Maria Ana P. Marcon, agradeço pelas orientações dadas para a realização do meu trabalho, e pela pessoa especial que se tornou para mim ao longo do curso.

Aos professores da minha graduação, pela paciência e ensinamentos transmitidos, meu obrigado.

Aos colegas de trabalho, que com respeito, puderam me proporcionar conhecimento e diversão nas horas certas, obrigado.

Aos meus colegas de faculdade e amigos, que me apoiaram e através da força de todos, conseguimos concretizar nossos sonhos. Ao meu amigo Luiz Henrique, pelo companheirismo e pelos momentos gratificantes que passamos.

Ao curso de engenharia química em um todo, que nesses anos me proporcionaram experiências incríveis, além das expectativas de sala de aula, onde pude adquirir histórias magníficas.

Ao professor Gilson Reynaldo, coordenador do estágio, que com sua simplicidade e equidade nos passou todo conhecimento necessário para a realização do trabalho, obrigado.

“Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido” (Marie Curie).

## RESUMO

Grande quantidade de resíduos são gerados todos os dias nos mais variados setores, isso acontece há anos, mas com o passar do tempo, foi se percebendo da necessidade de um destino correto, ou melhor, um reuso para esses dejetos. Em 2015, aproximadamente 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos foram gerados, e essa quantidade vem crescendo a cada ano. Com isso faz-se no presente relatório um estudo parareutilização de resíduos de lã de rocha e de poliuretano, gerados em uma Termoelétrica no sul do país, que atualmente têm-se como destino os aterros sanitários, para produção de isolantes térmicos e acústicos sustentáveis, realizando alguns testes para análise de eficiência. Essas placas isolantes foram preparadas em mistura de diferentes percentuais de poliuretano e lã de rocha. Entre os testes feitos, estão o de resistência mecânica, o de acústica, e de transferência térmica. Para os três testes, os isolantes apresentaram resultados satisfatórios, pelo aspecto físico-químico dos resíduos. Para o teste de tração, quanto maior o percentual de lã de rocha agregado, maior a força necessária para romper o material, com uma diferença de 11 Kgf, do corpo com 100% PU em comparação com o corpo de prova com 80% lã de rocha. O teste de acústica seguiu o mesmo princípio, reduzindo o ruído em 13,4dB(A), comparando o nível de ruído ambiente e após aplicação da placa de 80% de lã de rocha. Já para o teste de transferência térmica, quanto maior a porcentagem de lã de rocha, menor a eficiência, explicado através do coeficiente de condutividade térmica do material.

Palavras-chave: Isolantes. Lã de Rocha. Poliuretano.

## RÉSUMÉ

D'énormes quantités de déchets sont générées chaque jour dans les secteurs les plus divers, cela s'est produit pendant des années, mais avec le temps, l'humanité a compris la nécessité d'obtenir une réutilisation/un recyclage de ces déchets. En 2015, environ 79,9 millions de tonnes de déchets solides ont été générées, et cette quantité augmente chaque année. Dans ce rapport, une étude est réalisée sur la réutilisation des déchets de laine de roche et de polyuréthane, générés en une usine thermoélectrique du sud du pays, actuellement destinée à l'enfouissement pour la production d'isolation thermique et acoustique. Ces plaques d'isolation ont été préparées pour différentes quantités de polyuréthane et de laine de roche. Parmi les tests effectués, on peut citer la résistance mécanique, l'acoustique et le transfert thermique. Pour les trois essais, les isolants ont donné des résultats satisfaisants, en raison de l'aspect physicochimique des résidus. Pour l'essai de traction, plus la quantité de laine de roche totale est élevée, plus la force requise pour briser le matériau est élevée. Les conclusions sont les mêmes pour le test acoustique, c'est-à-dire que l'application du panneau de laine de roche à 80% permet de réduire le bruit de 13,4 dB (A) en comparant au niveau de bruit ambiant. Pour l'essai de transfert thermique, plus la quantité de laine de roche est élevée, plus le rendement est faible, ce qui s'explique par le coefficient de conductivité thermique du matériau.

Mots-clés: Isolants. Laine de Roche. Polyuréthane.

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1: Geração anual de RSU no Brasil em 2015 comparado com 2014. ....	16
Figura 2: Coleta anual de RSU no Brasil em 2015 comparado com 2014. ....	17
Figura 3: Disposição final dos RSU coletados em 2015 comparado com 2014. ....	18
Figura 4: Geração e coleta de RSU no Estado de Santa Catarina. ....	18
Figura 5: Disposição final de RSU no Estado de Santa Catarina (t/dia). ....	19
Figura 6: Resíduos gerados na termoelétrica B em 2016, em Kg. ....	20
Figura 7: Resíduo de lã de rocha. ....	24
Figura 8: Resíduos de lã de rocha na empresa B, em 2016, gerados e destinados, em Kg. ....	25
Figura 9: Resíduo de poliuretano. ....	28
Figura 10: Resíduos comuns na Empresa B, em 2016, gerados e destinados, em Kg. ....	29
Figura 11: Prensa hidráulica EngEnova. ....	31
Figura 12: Equações de tensão nominal e deformação nominal. ....	32
Figura 13: Dimensões de corpos de prova poliméricos para serem submetidos à tração. ....	32
Figura 14: Máquina de tração Emic DL2000. ....	33
Figura 15: Faixa de níveis sonoros confortáveis em ambientes diversos, em dB(A). ....	34
Figura 16: Decibelímetro INSTRUTHERM DEC-460. ....	35
Figura 17: Termovisor Fluke Thermal Imager. ....	37
Figura 18: Placas poliméricas 100% PU (à esquerda) e 80% lã de rocha (à direita). ....	41
Figura 19: Fonte de calor sem placas isolantes. ....	43
Figura 20: Placa 100% PU. ....	44
Figura 21: Placa 20% lã de rocha. ....	44
Figura 22: Placa 40% lã de rocha. ....	45
Figura 23: Placa 60% lã de rocha. ....	46
Figura 24: Placa 80% lã de rocha. ....	46

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Resultado do teste de tração. ....	42
Tabela 2: Medição do ruído em dB(A).....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA .....	12
1.2	OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>13</b>
1.2.1.1	Objetivos específicos.....	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS .....	14
<b>2.1.1</b>	<b>Classificação dos Resíduos Sólidos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Geração dos Resíduos Sólidos .....</b>	<b>16</b>
2.1.2.1	Geração dos Resíduos Sólidos em Santa Catarina .....	18
2.1.2.1.1	<i>Geração dos Resíduos sólidos em Termoelétricas .....</i>	<i>19</i>
<b>2.1.3</b>	<b>Reaproveitamento dos Resíduos Sólidos .....</b>	<b>20</b>
2.2	LÃ DE ROCHA.....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Obtenção da Lã de Rocha.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Aplicações da Lã de Rocha .....</b>	<b>22</b>
2.2.2.1	Aplicações da Lã de Rocha em Termoelétricas .....	23
<b>2.2.3</b>	<b>Propriedades Físico-químicas da Lã de Rocha .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Resíduos de Lã de Rocha .....</b>	<b>24</b>
2.2.4.1	Geração dos resíduos de Lã de Rocha em Termoelétricas .....	24
2.2.4.2	Impactos dos Resíduos de Lã de Rocha .....	25
2.3	POLIURETANO.....	26
<b>2.3.1</b>	<b>Obtenção do Poliuretano .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Aplicações do Poliuretano .....</b>	<b>26</b>
2.3.2.1	Aplicações do Poliuretano em Termoelétricas .....	27
<b>2.3.3</b>	<b>Propriedades Físico-químicas do Poliuretano .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Resíduos de Poliuretano.....</b>	<b>28</b>
2.3.4.1	Geração dos resíduos de Poliuretano em Termoelétricas.....	28
2.3.4.2	Impactos dos Resíduos de Poliuretano .....	29
2.4	COMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE LÃ DE ROCHA AGREGADO EM POLIURETANO .....	30
<b>2.4.1</b>	<b>Teste de Tração.....</b>	<b>31</b>

<b>2.4.2</b>	<b>Teste Acústico .....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Teste de Transferência Térmica .....</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
3.1	A PESQUISA CIENTÍFICA .....	38
3.2	TIPO DE PESQUISA REALIZADA .....	38
3.3	POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	39
<b>3.3.1</b>	<b>Instrumentos de Coleta de Dados .....</b>	<b>39</b>
3.4	DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	40
3.5	ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	41
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE LÃ DE ROCHA .....</b>	<b>54</b>
	<b>ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS COMUNS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda da tecnologia e a conseqüente produção dos mais variados setores, têm como conseqüência a geração de grandes quantidades de resíduos oriundos de processos que, em ciclo, acabam gerando resíduos sólidos nas residências e empresas. Essa grande geração de poluentes vem crescendo a cada ano de forma exponencial e, pela falta de políticas públicas e conscientização das pessoas e das empresas, acabam gerando um destino inadequado.

### 1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2015), cerca de 58,7% dos resíduos sólidos urbanos coletados em 2015, no Brasil, foram para aterros controlados.

Porém, a maior parte da geração total dos resíduos provém das grandes empresas, que geram elevados volumes destes, devido a sua produção diária. No entanto, possuem responsabilidade social com o meio, além de serem controladas por órgãos ambientais que, na maioria das vezes, destinam corretamente os resíduos do processo, uma vez que quanto maior o compromisso da empresa com o meio ambiente, maior a tentativa de destinar adequadamente esses resíduos.

A empresa A (nome fictício utilizado para manter em sigilo o nome da empresa), gerenciadora de resíduos industriais no sul de Santa Catarina, atuante de forma ética e responsável no transporte e destino final de resíduos classe I e classe II, gerencia adequadamente, desde 2015, os resíduos industriais provenientes da Empresa B, de grande porte, sendo responsável pelo suprimento energético de grande parte da Região Sul do país.

Segundo dados de 2016 da empresa A, cerca de 65% dos resíduos (não incluindo cinzas leves e pesadas, e carvão) oriundos da empresa B, foram destinados corretamente, ou seja, puderam ser reutilizados, após aplicação de tecnologias para reuso (reciclagem, co-processamento, rerrefino ou compostagem do resíduo). Contudo, os resíduos que não sofreram processos para reutilização, a maior parte deles, foram destinados aos aterros sanitários. Embora todos tenham sido descartados de forma consciente, objetiva-se o aumento da quantidade de resíduos para que voltem como produtos. Porém, existem diversas dificuldades para o aumento dessa quantidade no reaproveitamento, seja por não haver um

destinador final que faça o processo na região, seja pela viabilidade econômica, ou até mesmo por não haver tecnologia conhecida no mercado.

Diante dos fatos, a empresa A, hoje encaminha todo resíduo de lã de rocha e de poliuretano, para aterros industriais, pela dificuldade de encontrar na região algum destinador final para estes dois resíduos, que tenham as licenças ambientais necessárias para o aporte dos materiais. Segundo informações da empresa A, a quantidade de lã de rocha destinada a aterros, em 2016, foi de aproximadamente 100 toneladas, e a quantidade de poliuretano não foi informada pela empresa, por ser contabilizado juntamente com resíduos comuns, que juntamente com outros resíduos, geram como consequência a superlotação dos aterros sanitários.

Em se tratando do exposto, o problema desta investigação consiste: **é possível fazer o reuso dos resíduos de lã de rocha e de poliuretano, gerados em empresa do Sul do Brasil, reutilizando-os como isolante térmico e acústico, procurando beneficiar o meio ambiente?** Em estudo exploratório realizado para o Estágio Supervisionado de Engenharia Química, em Tubarão, SC, no ano de 2017.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar a possibilidade de reuso dos resíduos de lã de rocha e de poliuretano, gerados em empresa do sul do Brasil, reutilizando-os como isolante térmico e acústico, procurando beneficiar o meio ambiente.

#### 1.2.1.1 Objetivos específicos

- a) Identificar as origens dos resíduos;
- b) Descrever os resíduos isolantes;
- c) Incorporar resíduos de lã de rocha e de poliuretano para formação de placas;
- d) Analisar parâmetros das placas poliméricas para reutilização;
- e) Descrever alternativas factíveis para o processo de reaproveitamento;
- f) Determinar possibilidades economicamente viáveis para o reaproveitamento dos resíduos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

São os dejetos gerados por ação humana, que apesar de perderem sua utilização no processo que eram utilizados, podem se tornar matéria prima para outras atividades, aplicando tecnologias acessíveis, embora ainda não haja conscientização do assunto. Segundo a Norma Brasileira (NBR) 1004:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), define-se como resíduo sólido:

[...] resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Ainda, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada pela Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010, artigo 13º e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 2010, resíduo sólido, possui como definição:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humana em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL A, 2010).

Por muitas vezes, os resíduos são considerados inutilizados, são considerados lixos, mas isso acontece pela falta de conhecimento. O termo “lixo” se caracteriza por não ser reutilizável, sem valor. (MICHAELLIS, 2017). Ao contrário do resíduo, que se pode tornar rentável, agregando valor ao que antes era considerado um produto do processo inutilizável, que seria destinado a um aterro, por exemplo.

Porém, com o passar do tempo, o valor agregado ao resíduo vai ganhando notoriedade, devido a conscientização e contribuindo desta forma com o meio ambiente. No ano de 2015, no Brasil, cerca de 58,7% dos resíduos sólidos coletados foram para aterro, houve um aumento absoluto no número de resíduos destinados corretamente, comparando com anos anteriores. (ABRELPE, 2015).

### 2.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são classificados conforme suas características físico-químicas. O grau de risco do resíduo em contato com os seres vivos ou o meio ambiente que o define como perigoso ou não perigoso. A origem do resíduo, a composição química, o tipo e a periculosidade do resíduo são os fatores determinantes para a classificação.

I - quanto à origem: a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas; b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana; c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”; d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”; e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”; f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais; g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS; h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis; i) resíduos agroflorestais: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades; j) resíduos de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira; k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios; II - quanto à periculosidade: a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica; b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”. (BRASIL A, 2010).

Como visto a origem e a periculosidade do resíduo pode determinar sua classificação. Ainda há a classificação como classe I e classe II, que inclui classe II-A e II-B. Resíduos classe I: perigosos, que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, entre outras características que tragam perigos à saúde pública ou à fauna. Classe II-A: resíduos não perigosos, não inertes, que apresentam solubilidade em água, têm propriedades de combustibilidade e biodegradabilidade, que não se enquadram como resíduos classe I ou como resíduos classe II-B. Resíduos classe II-B – resíduos não perigosos, inertes, que não possuem em sua composição solubilidade em água. (ABNT, 2004).

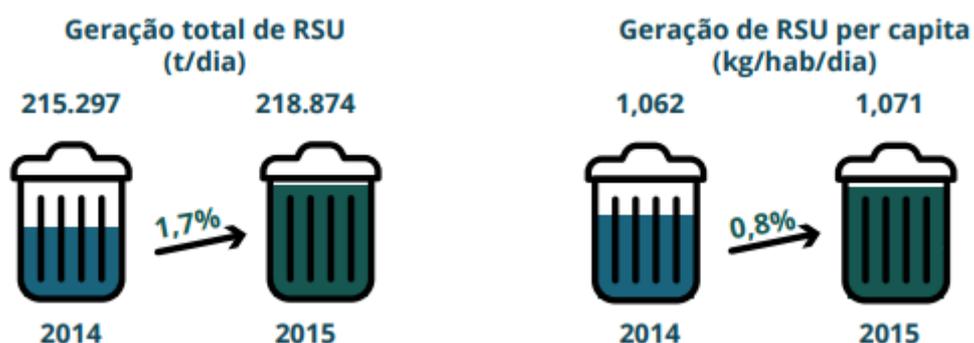
## 2.1.2 Geração dos Resíduos Sólidos

A constante modernização e criação de novos produtos faz com que a geração de resíduos sólidos cresça a cada ano de forma grandiosa, sendo que com novos produtos consumidos, antigos sejam descartados. Com isso, soluções econômicas e ambientalmente viáveis de destino para os resíduos aprimoram-se a cada ano. A conscientização dos indivíduos vem crescendo e a preocupação é notória, com o destino correto e reciclagem dos diversos produtos existentes. Porém a reciclagem e envio a aterro esbarram em aspectos ligados ao planejamento dos municípios e aos custos, que encarecem, devido ao aumento do contingente de funcionários e as licenças ambientais necessárias.

No tocante à disposição final, houve aumento em números absolutos e no índice de disposição adequada em 2015: cerca de 42,6 milhões de toneladas de RSU, ou 58,7% do coletado, seguiram para aterros sanitários. Por outro lado, registrou-se aumento também no volume de resíduos enviados para destinação inadequada, com quase 30 milhões de toneladas de resíduos dispostas em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações. (ABRELPE, 2015, p. 18).

O número aproximado de resíduos sólidos urbanos (RSU), gerados em 2015 no Brasil, é de 79,9 milhões de toneladas, número superior ao ano anterior. Esse aumento também ocorre devido ao crescimento populacional no país. A população brasileira apresentou um crescimento de 0,8% entre 2014 e 2015 e a geração per capita de RSU acompanhou o ritmo de crescimento. A geração total, no entanto, apresentou uma elevação de 1,7% de RSU gerado no país, em relação ao ano anterior. (ABRELPE, 2015).

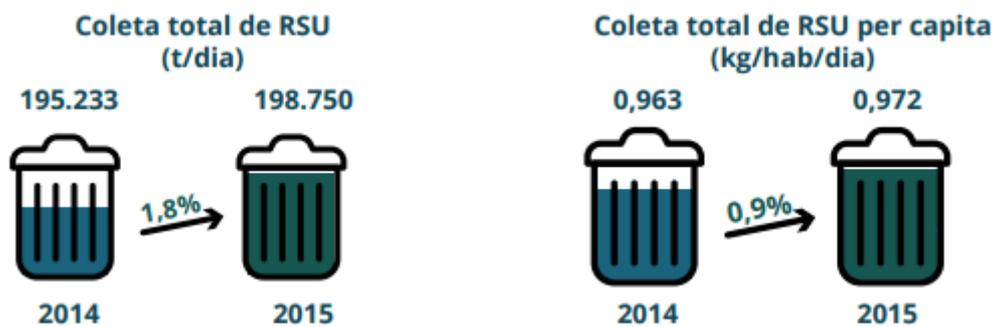
Figura 1: Geração anual de RSU no Brasil em 2015 comparado com 2014.



Fonte: ABRELPE, 2015, P.19.

A quantidade de RSU coletado em 2015, no Brasil, cresceu em todas as regiões, comparado com o ano anterior, e a região Sudeste continua representando a maior parte, com 53% do total. A coleta total de RSU subiu de 195.233 toneladas por dia, em 2014, para 198.750 toneladas por dia, em 2015, representando um aumento de 1,8%. A quantidade coletada também segue o princípio da geração em função do crescimento populacional, apresentando um aumento de 0,9%, de 2014 para 2015, na quantidade coletada por habitante. (ABRELPE, 2015).

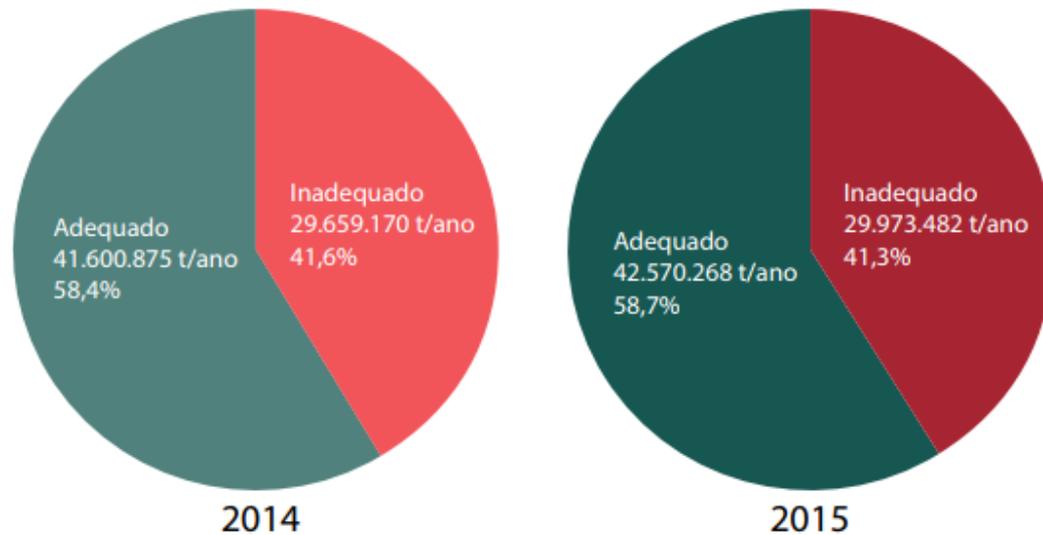
Figura 2: Coleta anual de RSU no Brasil em 2015 comparado com 2014.



Fonte: ABRELPE, 2015, P. 19.

A disposição final dos RSU apresentam dados satisfatórios, houve uma evolução e aprimoramento, mais metade dos resíduos coletados (58,7%), foram encaminhados para aterros, que constituem locais aptos a receber os resíduos, e com devidas licenças ambientais. Porém, mais de 82.000 toneladas de resíduos por dia, em todo o país, são enviados para unidades inadequadas, com grande potencial de dano ao meio ambiente. (ABRELPE, 2015).

Figura 3: Disposição final dos RSU coletados em 2015 comparado com 2014.



Fonte: ABRELPE, 2015, P.24.

#### 2.1.2.1 Geração dos Resíduos Sólidos em Santa Catarina

O Estado de Santa Catarina segue os aspectos do cenário nacional, ocorrendo o crescimento populacional no ano de 2015, comparado com o ano anterior, os RSU gerados em 2014 cresceram de 4.909 toneladas por dia, para 4.990 toneladas por dia em 2015 no Estado. A coleta dos RSU também cresceu em 2015, comparando com 2014, de 4662 toneladas por dia para 4707 toneladas por dia, e por consequência do aumento populacional já citado, houve o crescimento per capita de coleta. (ABRELPE, 2015).

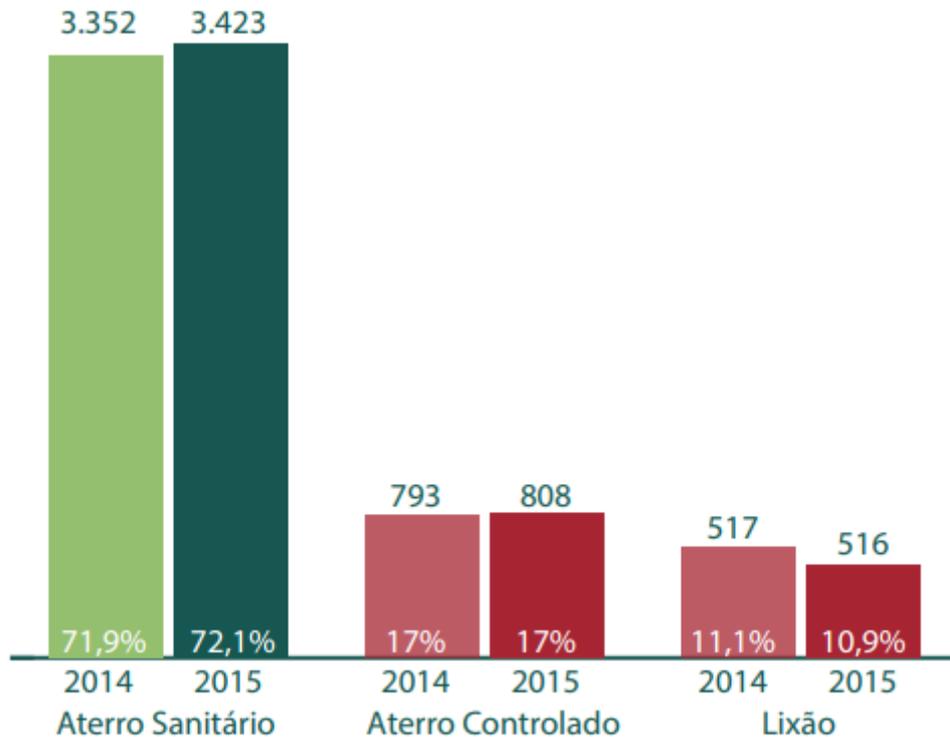
Figura 4: Geração e coleta de RSU no Estado de Santa Catarina.

População Total		RSU Gerado (t/dia)		RSU Coletado			
				(Kg/hab/dia)		(t/dia)	
2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
6.727.148	6.819.190	4.909	4.990	0,693	0,696	4.662	4.747

Fonte: ABRELPE, 2015, P. 63.

A destinação final de RSU no Estado de Santa Catarina também segue o aspecto do país. Em 2015, houve um aumento no destino dos resíduos para aterro sanitário, e uma diminuição dos resíduos em lixões, comparados com o ano anterior.

Figura 5: Disposição final de RSU no Estado de Santa Catarina (t/dia).

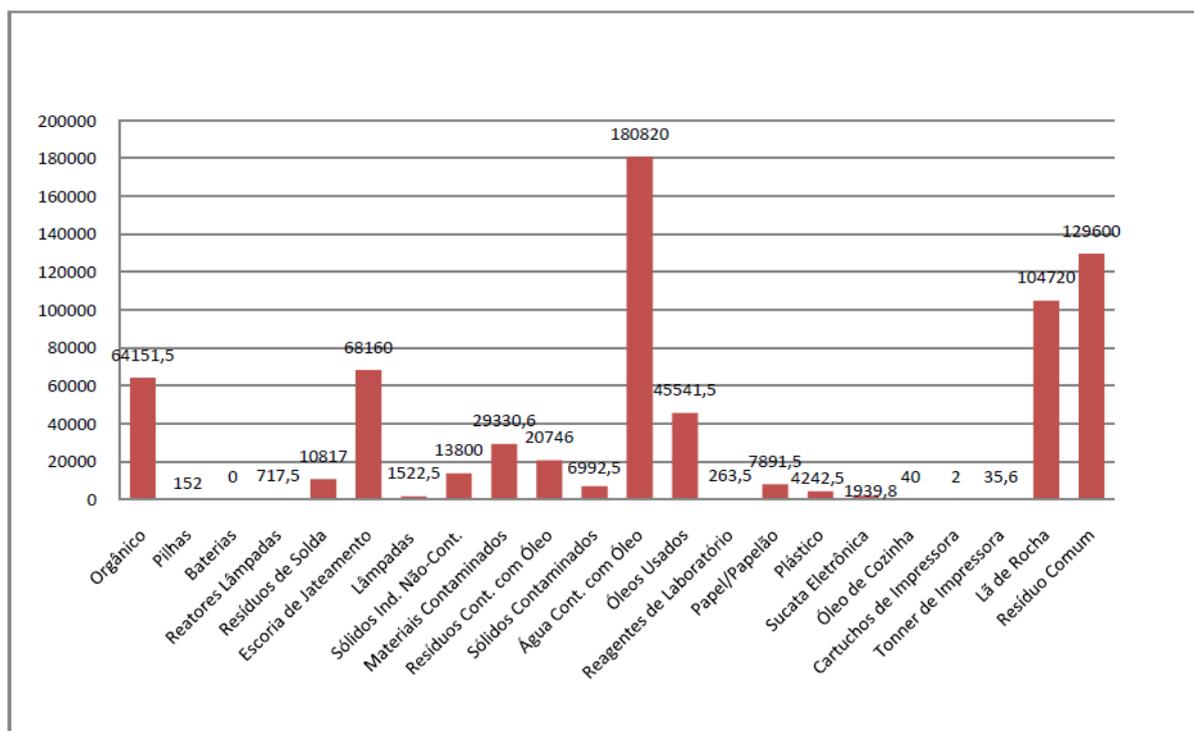


Fonte: ABRELPE, 2015, P.63.

#### 2.1.2.1.1 Geração dos Resíduos sólidos em Termoelétricas

Os resíduos sólidos gerados nas usinas termoelétricas são oriundos do processo industrial da empresa, em função das atividades desenvolvidas pelos trabalhadores, das manutenções necessárias para que não haja perda na eficiência do processo, além de outros fatores que geram o resíduo sólido. Em 2016, a quantidade de resíduos gerados pela termoelétrica B, foi de aproximadamente 2.314 toneladas, resíduos esses que são coletados no complexo da empresa, através de coleta seletiva, para posteriormente serem descartados de forma ambientalmente correta, focando no reaproveitamento, quando viável. A disposição final dos resíduos gerados na Termoelétrica em 2016 obteve um percentual de aproveitamento por reciclagem em torno de 68% (excluindo as cinzas). A quantificação por resíduo gerado no Complexo Termoelétrico no ano de 2016 pode ser analisada na figura 6, com exceção das cinzas, que não estão no escopo da Empresa A. (EMPRESA A, 2016).

Figura 6: Resíduos gerados na termoeletrica B em 2016, em Kg.



Fonte: Empresa A, 2016.

### 2.1.3 Reaproveitamento dos Resíduos Sólidos

A reciclagem dos resíduos no Brasil, ao contrário do que foi observado nas coletas de RSU realizadas, não apresentou avanço, em 2015. Em alguns setores houve até mesmo uma redução no percentual de material reciclado, comparando com anos anteriores. (ABRELPE, 2015).

Existem hoje diversas tecnologias aplicáveis para o reaproveitamento dos resíduos. Essas técnicas são utilizadas conforme a necessidade de cada local e a característica particular de cada resíduo, de forma de diminuir o impacto ambiental e os riscos à saúde. A reciclagem, a compostagem, a incineração, são alguns dos métodos utilizados para que os requisitos do reaproveitamento ou diminuição sejam atendidos, e quando não são viáveis algumas das alternativas existentes, os resíduos são eliminados em aterros, na maioria das vezes.

A reciclagem é o reprocessamento de materiais, permitindo novamente sua utilização. (CALDERONI, 1998). Com isso faz com que o que era denominado rejeito por um gerador, possa servir de matéria para outro indivíduo através de um processo específico, contribuindo para a sociedade em um todo.

A recuperação de recursos é um fator muitas vezes esquecido na eliminação dos resíduos. Por exemplo, produtos químicos específicos podem ser muitas vezes recuperados por *stripping*, destilação, lixiviação ou extração. Sólidos valiosos tal como metais e plásticos podem ser recuperados por imãs, condutividade elétrica, agitação, flutuação ou coletados manualmente. Resíduos processados às vezes também podem ser convertidos em produtos para a venda ou materiais inócuos que podem ser eliminados ou não causarem mais riscos. A solução seria incluir a hidrogenação de orgânicos para a produção de combustíveis, acetilação dos resíduos de celulose para a formação de acetato de celulose, ou nitração ou enriquecimento de fósforo de resíduos para a produção de fertilizantes. (PETERS; TIMMERHAUS; WEST, 2003, p. 51 - tradução nossa).

A compostagem trata-se da estabilização da matéria orgânica por fermentação que melhora as propriedades físicas do solo, através da degradação da matéria orgânica. (OLIVEIRA, 1992).

A incineração é a redução do peso e volume através da queima controlada do resíduo, que por eliminar os organismos patogênicos é amplamente utilizada para resíduos de serviços de saúde, que são transformados em cinzas. (id *ibid*, 1992).

Quando algumas das várias tecnologias existentes não são suficientes, ou quando não são economicamente viáveis para o gerador, o resíduo é destinado aos aterros, o processo mais comum e utilizado.

Aterros sanitários são basicamente a técnica simples que envolve espalhar e compactar resíduos sólidos em células que são cobertas diariamente com terra. Cuidados especiais devem ser exercidos para que os resíduos eliminados dessa forma sejam inertes ou capazes de serem degradados por ataque microbiano em compostos inofensivos. Os problemas principais encontrados na operação do aterro é a produção de lixiviados que possam contaminar águas subterrâneas e os potenciais riscos associados com a acumulação de gases inflamáveis produzidos durante a degradação da matéria residual. (PETERS; TIMMERHAUS; WEST, 2003, p. 52 - tradução nossa).

Com esse cenário apresentado, os aterros se tornam uma solução com menor custo e maior praticidade. Porém com a conscientização e a percepção do valor agregado aos resíduos, os indivíduos vêm criando e procurando novos destinos que sejam rentáveis e ecologicamente adequados.

## 2.2 LÃ DE ROCHA

A lã de rocha é proveniente de fibras minerais de rochas vulcânicas, apresentam baixa condutividade térmica, suportam altas temperaturas e apresentam alta absorção acústica. Essas características caracterizam a lã de rocha como um excelente isolante térmico e

acústico, utilizados no mais variados setores. (CHENG; LIN; HUANG, 2010 – tradução nossa).

### **2.2.1 Obtenção da Lã de Rocha**

A lã de rocha é originada de rochas basálticas e outros minerais, que através de processos físico-químicos são obtidos em filamentos. Primeiramente as rochas os minerais são aquecidos em torno de 1600°C, fundindo o material, que posteriormente são transformados em filamentos por uma operação de centrifugação. Esses filamentos originados são aglomerados com resinas orgânicas e óleos impermeabilizantes, fazendo com que as fibras apresentem após todo processo semelhança à lã. (ROCKFIBRAS, 2017).

Dependendo do desejado, o tratamento devido é feito para que apresente comportamento rígido ou flexível, dependendo do grau que o material é compactado, assim podendo ser empregado, moldado em várias formas. (id ibid, 2017).

### **2.2.2 Aplicações da Lã de Rocha**

Devido as excelentes propriedades de isolamento térmico, isolamento acústico, proteção contra incêndios, por ser quimicamente neutra e resistente à água, a lã de rocha pode ser aplicado em diversos setores, atendendo aos seguimentos industriais da construção civil, industrial, automotivo, petroleiro, termoelétrico, eletroeletrônico, entre outros.

Em se tratando das propriedades desse isolante, apresenta grande aplicação em ambientes internos, paredes e forros, em coberturas, fachadas e pavimentos. Além de ser utilizado como proteção contra incêndios, barreiras corta-fogo, correções acústicas, construção de frigoríficos, entre outras aplicações. (LA ROCHA, 2017).

As diversas aplicações existentes para a lã de rocha torna notável a grande quantidade de resíduos gerados, que devem ser submetidos a novas aplicações, pois embora não sirva para o processo de origem, e tenha perdido parte de suas propriedades originais após o uso, o material ainda contém as principais propriedades, que podem ser utilizadas em locais que essas novas características supram o necessário.

Quando empregado, como isolante acústico ou térmico, deve-se levar em conta o desgaste natural do material, com isso, aumenta-se a espessura para que o material ao reduzir sua espessura não perca sua capacidade térmica e acústica desejada. Esses desgastes ocorrem pela variação de temperatura interna e externa, ou aos impactos que o material é submetido.

### 2.2.2.1 Aplicações da Lã de Rocha em Termoelétricas

A alta resistência à condutibilidade térmica caracteriza a lã de rocha como um excelente isolante térmico nos processos industriais, além da facilidade de se manusear ou moldar aos equipamentos, como caldeiras e tubulações, faz com que a energia existente no interior desses equipamentos continue no processo, devido às propriedades que geram a resistência no envolto que não permite a liberação de todo o calor gerado.

### 2.2.3 Propriedades Físico-químicas da Lã de Rocha

As fibras possuem como características: elevados índices de absorção acústica, apresentam inércia química, comportando-se muito bem em meios alcalinos, podem ser aplicados em ambientes internos, por serem incombustíveis, suportam temperaturas elevadas, acima de 1000°C, apresentando maior eficiência na faixa de -200°C a +750°C, e apresentam características de baixa condutividade térmica, apresentando coeficiente de condutividade térmico ( $k$ ) de  $0,033\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$ , que pode apresentar variação conforme a espessura do material. (LIBORIO, 2009).

Por não reagir quimicamente com o meio que é submetido, a lã de rocha tem alto grau de procura como isolante, pois pode ser aplicado em diversos ramos de serviços, sem comprometer a estrutura do processo. O coeficiente de condutividade térmico relativamente baixo torna-se altamente atrativo para o meio industrial.

Quanto mais baixa a capacidade térmica de um material, maior será o desempenho por ele analisado. Com isso, essa capacidade isolante consiste na baixa capacidade térmica ( $k$ ). (SANTOS, 2008).

A barreira feita pela lã de rocha faz com que não seja feita a transferência de calor, realizando o isolamento térmico e juntamente favorece com que as ondas sonoras sejam amortecidas, com o isolamento acústico proveniente do produto. (LA ROCHA, 2017).

No anexo A encontra-se a caracterização do resíduo de lã de rocha da empresa B, definindo as características do resíduo.

## 2.2.4 Resíduos de Lã de Rocha

Com os desgastes mecânicos que ocorrem com o produto, perdem-se as propriedades existentes na lã de rocha, com isso a substituição se torna necessária para que o processo, independente do setor, continue atuando com eficiência.

Existem duas finalidades mais usuais para que os resíduos de lã de rocha sejam reaproveitados: no reforço de solos no meio agrícola ou na inserção do resíduo na indústria de produção de cimento. (CHEN; LING; HUANG, 2010 – tradução nossa).

A falta de alternativas para o resíduo em questão, de modo viável e que compense seu reuso se torna precário e de pouco interesse, o que faz com que os resíduos oriundos do processo sejam destinados aos aterros, por ser classificado como classe II-A, não apresentando periculosidade. Logo, a necessidade de soluções viáveis se torna evidente, tendo em vista a significativa quantidade de resíduos de lã de rocha que são gerados diariamente no país.

Figura 7: Resíduo de lã de rocha.



Fonte: do autor, 2017.

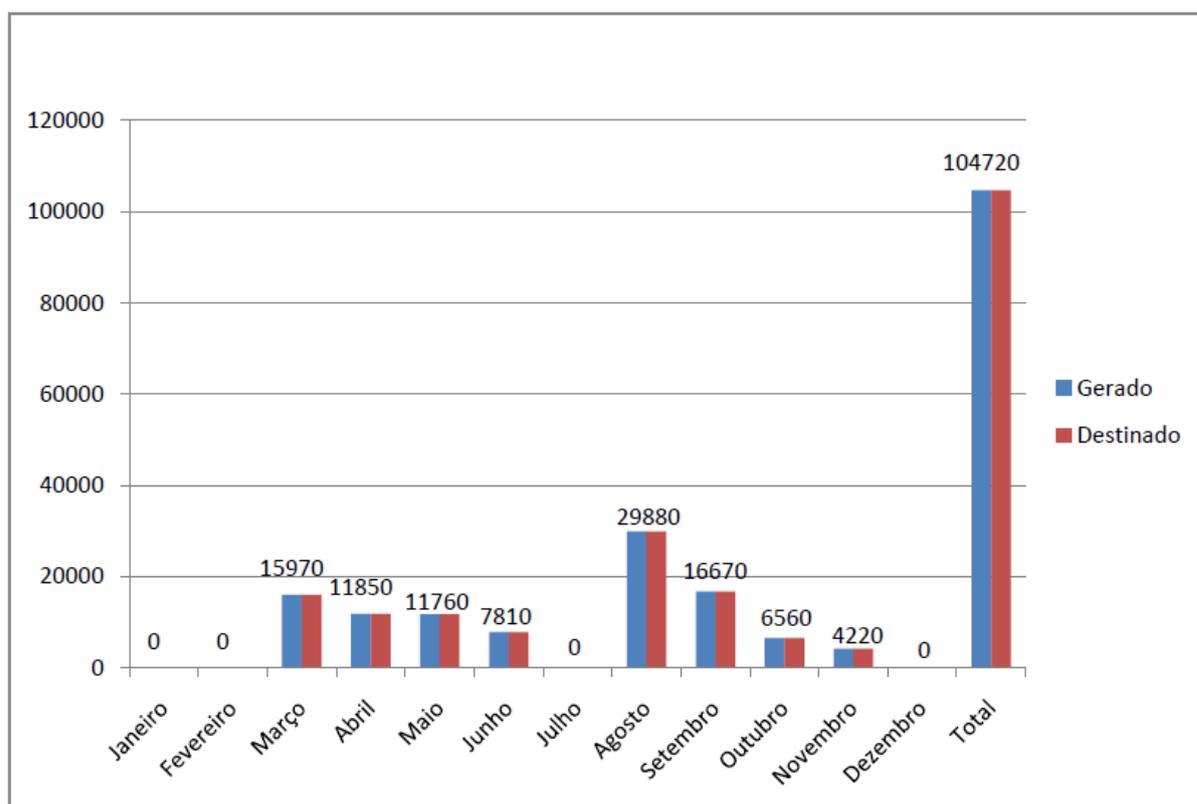
### 2.2.4.1 Geração dos resíduos de Lã de Rocha em Termoelétricas

Com as manutenções preventivas necessárias aos equipamentos como, caldeiras, torres de resfriamento, tubulações, a lã de rocha perde sua eficiência térmica por sofrer deformações, e como consequência se gera um resíduo industrial. Na figura 8, baseado em relatório técnico, pode ser analisada a quantidade resíduo de lã de rocha gerada e destinada na

empresa B, termoelétrica no sul do país, em quilogramas, no ano de 2016. Embora em alguns meses não houve geração do resíduo, por não haver reformas ou não ser necessário a substituição, os outros meses foram suficientes para gerar uma grande quantidade anual, totalizando 104.720Kg gerados, tendo a mesma quantidade destinada, por haver somente armazenamento temporário. (EMPRESA A, 2016).

A quantidade do resíduo gerado somente na empresa B, em 2016, torna-se preocupante, sabendo que outras diversas empresas produzem esse tipo de resíduo. Mais de 100 toneladas dessa termoelétrica, que serão encaminhados aos aterros por falta de soluções viáveis que façam um melhor uso do resíduo, ao invés de superlotar os receptores.

Figura 8: Resíduos de lã de rocha na empresa B, em 2016, gerados e destinados, em Kg.



Fonte: empresa A, 2016.

#### 2.2.4.2 Impactos dos Resíduos de Lã de Rocha

A maior parte da grande quantidade do resíduo de lã de rocha gerado em todo país tem como destino os aterros sanitários, contribuindo para a superlotação dos mesmos, além de gerar custos de transporte e destinação, quando não são encaminhados para lixões ou aterros não controlados, gerando um impacto ambiental significativo aos mananciais e a flora. Embora

possa ser facilmente moída, apresentando granulometria fina que pode ser agregada a outros materiais para formação de compósitos que por fim tenham uma nova aplicação.

O impacto desses resíduos pode ser diminuído com tecnologias de reciclagem, reaproveitamento, que propiciam o aumento do uso da matéria prima. Com a geração dos resíduos sólidos, as empresas veem a necessidade dessa reciclagem como um processo preventivo, evitando danos aos seres vivos e ao meio ambiente. (PIMENTAS; GOUVINHAS, 2007).

## 2.3 POLIURETANO

O poliuretano, mais conhecido como PU, são copolímeros em bloco, definidos como macromoléculas compostas de segmentos ou blocos de dois homopolímeros essencialmente puros, com características e pesos moleculares diferentes que se alternam na cadeia polimérica através de ligações uretânicas.

### 2.3.1 Obtenção do Poliuretano

A principal reação de produção de poliuretanos tem como reagente um diisocianato, disponível nas formas alifáticas ou aromáticas, e um diol ou um poliálcool poliéster, na presença de catalisador e de materiais para o controle da estrutura das células (surfactantes), no caso de espumas e tintas. Quando, na reação de polimerização, o diol é substituído por umadiamina, obtém-se uma poliureia, porque a unidade básica torna-se uma ureia e não um carbamato. (VILAR, 2000).

Pelo fato de o poliuretano ser derivado do petróleo, novas alternativas sustentáveis vem sendo estudadas para obtenção do mesmo, sendo obtido através de óleo vegetal. (SOMANI, 2003 – tradução nossa).

### 2.3.2 Aplicações do Poliuretano

Devido aos métodos utilizados para obtenção e à sua composição, o poliuretano se torna bastante versátil, sendo utilizado em diversos ramos da ciência, sendo ligados à inovação e a facilidade de obtenção. (STROBECH, 1990 – tradução nossa).

Os poliuretanos são polímeros extremamente versáteis, são aplicados numa ampla gama de materiais com propriedades diversas. Esses polímeros podem ser encontrados sob a forma de elastômeros, fibras e espumas, podendo ainda apresentar biocompatibilidade.

#### 2.3.2.1 Aplicações do Poliuretano em Termoelétricas

As aplicações em termoelétricas estão nas mais variadas formas, por se tratar de um material empregado em diferentes setores, desde moveis de escritório, construção de andaimes, utilização para transporte no meio de produtos para proteção, em cadeiras, sofás, entre outros produtos. Contudo, é necessário enfatizar que é gerado em pequena quantidade em Termoelétricas.

#### 2.3.3 Propriedades Físico-químicas do Poliuretano

Os poliuretanos são uma variedade de grupos que ocorrem devido a uma polimerização controlada, sendo capaz de adaptar o processo para obter os mais variados tipos de materiais dependendo da exigência, desde sola de sapatos a implantes cirúrgicos, pois podem possuir grupos aromáticos, alifáticos, cíclicos, ureia, ésteres, amidas, éteres, entre outros. (ZECK, 2004).

As propriedades dos PU's estão ligadas a morfologia apresentada pelo polímero, que são características das fortes ligações uretânicas, segmentos rígidos de caráter polar são formados dentro de uma matriz também flexível, mas apolar, formada pelo polioliol utilizado, denominado de segmento flexível. (VILAR, 2002).

O poliuretano devido a sua propriedade físico-química possui grande resistência física as suas aplicações. Além de ser um material isolante acústico e térmico. O PU possui coeficiente de condutividade térmica de 0,02 W/m.K. (YOUNG, 1987).

No entanto, esse material não suporta altas temperaturas, comparado com a lã de rocha. O PU em uso contínuo pode ser usado na faixa de 110 a 130°C. (VILAR, 1993).

No anexo B encontra-se a caracterização do resíduo comum da empresa, em que o poliuretano é contabilizado, logo essa caracterização não apresenta dados específicos do PU.

### 2.3.4 Resíduos de Poliuretano

Os produtos do poliuretano têm muitos usos. Mais de três quartos do consumo global de poliuretano são na forma de espumas, com os tipos flexível e rígido grosseiramente igual quanto ao tamanho de mercado, porém, depois de descartados os materiais de PU, não há solução de reutilização e reaproveitamento do material, gerando um resíduo industrial. Na figura 9 pode ser observado um tipo de resíduo de PU.

Figura 9: Resíduo de poliuretano.



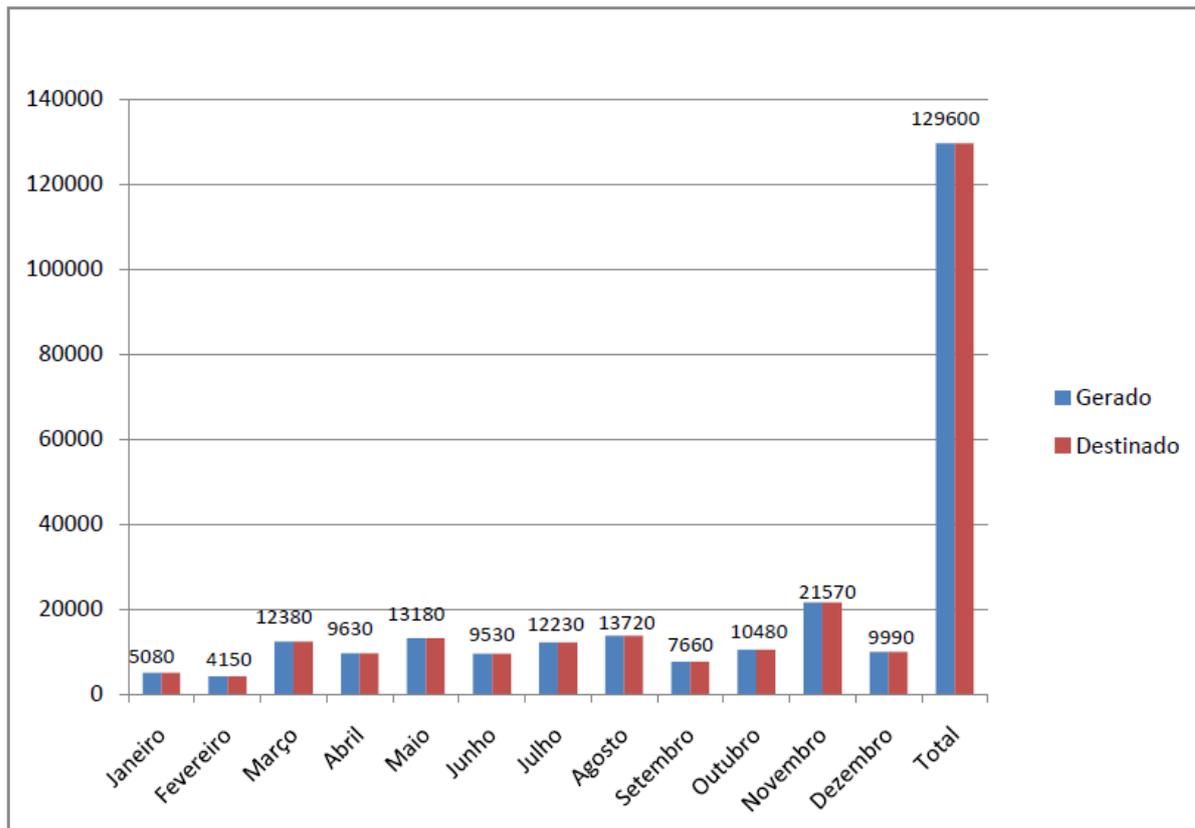
Fonte: do autor, 2017.

#### 2.3.4.1 Geração dos resíduos de Poliuretano em Termoelétricas

Após o uso e apresentar desgaste ou ineficiência para o que era necessário, o poliuretano é descartado. A figura 10 representa a quantidade de resíduos comuns gerados na empresa B, no ano de 2016. A quantificação do poliuretano está inclusa na contagem e pesagem de resíduos comuns, por se tornar inviável financeiramente separar resíduos que terão o mesmo destino final, além de que os resíduos de poliuretano são gerados em pequenas quantidades na Usina Termoelétrica. Porém, não é difícil encontrar empresas na região Sul do país que apresentem resíduos de PU no processo fabril.

Dentre os resíduos comuns estão resíduos que não apresentam periculosidade e que não há opção de reciclagem viável. No ano de 2016, como pode ser observado, 129,6 toneladas de resíduos comuns foram gerados e destinados aos aterros, que não tiveram reuso.

Figura 10: Resíduos comuns na Empresa B, em 2016, gerados e destinados, em Kg.



Fonte: empresa A, 2016.

#### 2.3.4.2 Impactos dos Resíduos de Poliuretano

Embora esses resíduos sejam classificados como classe II-A, não apresentando periculosidade, os resíduos de poliuretano apresentam grande impacto ao meio ambiente por não haver soluções viáveis e eficazes que façam o reaproveitamento desse dejetos. No entanto, todo resíduo gerado é encaminhado ao aterro, contribuindo para a superlotação e agressão aos seres e meio ambiente. (EMPRESA A, 2016). Com quantidade inestimável de resíduo de poliuretano gerado, torna-se preocupante o destino final, sendo necessárias soluções para seu reuso.

## 2.4 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE LÃ DE ROCHA AGREGADO EM POLIURETANO

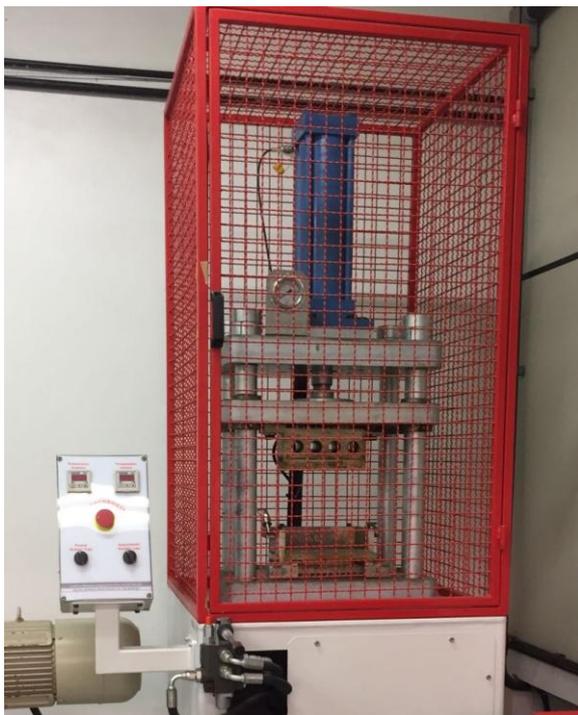
Os compósitos poliméricos aglutinados com resina são formados pela junção de pelo menos dois componentes, resultando em um material conjugado, formando placas que não reagem quimicamente com solventes ou produtos químicos. Um dos componentes é a matriz polimérica, que dá o suporte a peça, e um material de reforço, geralmente uma fibra. Devido à interação química e física que existe entre a fibra, que é o material de reforço, e o material polimérico, que é a matriz do produto, ocorre a transferência das tensões da matriz polimérica para o reforço fibroso, distribuindo assim tensões, quando existentes. (AGNELI, 2000).

Essas características demonstram e justificam o aumento exponencial do uso desses compósitos no mercado em geral, pelo valor econômico e pelo grande benefício obtido. Ainda mais quando se faz desses compósitos uma interação sustentável, oriunda de resíduos industriais, que apresentam excelentes características físico-químicas para isolamento acústico e térmico, como é o caso dos resíduos de lã de rocha e de poliuretano.

As propriedades dos compósitos poliméricos podem ser analisadas por testes eficientes, que determinam o uso final do produto. O uso em indústrias ou residências caracteriza-se como isolantes térmicos, acústicos, elétricos, ou locais que sejam submetidos a grandes esforços e que necessitem de resistência à tração. Por isso, testes de tração, de nível sonoro e transferência de calor podem determinar a eficiência dos compósitos para uso como isolantes térmicos e acústicos resistentes.

O equipamento envolvendo três variáveis, que são pressão, temperatura e tempo, denominado de prensa hidráulica, é capaz de produzir os compósitos poliméricos. Abaixo pode ser observada a figura da prensa com chapa de aquecimento.

Figura 11: Prensa hidráulica EngEnova.



Fonte: do autor, 2017.

### 2.4.1 Teste de Tração

Quando ocorre uma transformação em um corpo depois de submetido a uma força, o corpo tende a mudar sua forma e o tamanho do mesmo. Essas mudanças são denominadas de deformação que podem ser perceptíveis ou não visíveis, dependendo do material e da força que são submetidos os materiais, e essas forças podem ser quantificadas por equipamentos precisos. (HIBBELER, 2004).

Esses esforços submetidos podem causar a ruptura do material. A resistência do material depende da capacidade do corpo de suportar carga sem ruptura ou deformação excessiva. Essa propriedade é diferente para cada material e pode ser estimado somente por experimentos através do teste de tração. (id ibid, 2004).

Essas forças feitas através dos testes caracterizam o corpo como um bom material para sofrer os impactos diários do uso, podendo assim aplicá-lo de forma correta. Esses esforços quantificados pelas máquinas são mensurados fazendo com que o material se rompa quando a força adequada seja aplicada. Existem normas que regulamentam e tratam dos testes de tração para diferentes materiais.

A norma D 638-2a, da *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, trata do método de teste que abrange a determinação da tensão de propriedades de plásticos não

reforçados e reforçados na forma de espécies de teste em forma de halteres padrão quando testados em condições definidas de tratamento, temperatura, umidade e estando a força da máquina. (ASTM, 2003 – tradução nossa).

Como dados do teste de tração se calcula alguns parâmetros da peça, como a tensão nominal e deformação nominal, dividindo a carga aplicada pela área de seção transversal inicial e dividindo-se a variação no comprimento de referência, pelo comprimento de referência inicial, respectivamente. As equações descritas por Hibbeler podem ser vistas a seguir.

Figura 12: Equações de tensão nominal e deformação nominal.

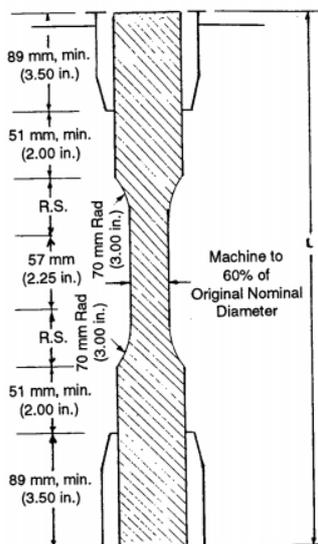
$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad \epsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

Fonte: HIBBELER, 2003, p.63-64.

Para os materiais sofrerem as forças para ocorrer à deformação precisam ser preparados. Essa preparação é diferenciada para cada tipo de material, sendo que para metais existe uma especificação e para materiais poliméricos outras, por exemplo.

A norma D 638-2a estabelece as dimensões para os materiais de compósitos poliméricos que podem ser visualizadas na figura abaixo.

Figura 13: Dimensões de corpos de prova poliméricos para serem submetidos à tração.



Fonte: ASTM, 2003, p.50.

As máquinas de teste de tração devem seguir essas normas para resultados confiáveis do teste, assim conseguindo dados reais do corpo de prova. Na figura 14 pode ser observada uma máquina de teste de tração.

Figura 14: Máquina de tração EmicDL2000.



Fonte: do autor, 2017.

#### 2.4.2 Teste Acústico

O intenso ruído em um ambiente pode causar danos irreversíveis à saúde. Por isso níveis de limites sonoros em diferentes ambientes devem ser respeitados para o conforto da comunidade que existe no local. Na figura 9 podem ser analisados os níveis sonoros aceitáveis em diversos locais.

A NBR 10152, da ABNT, que entrou em vigor em 1987, trata do nível de ruído para conforto acústico, fixando níveis de ruído, em ambientes diversos, compatíveis com o conforto acústico. A faixa de valores da figura 9 representa no limite inferior o nível sonoro para conforto e no limite superior o nível sonoro aceitável. (ABNT, 1987).

Figura 15: Faixa de níveis sonoros confortáveis em ambientes diversos, em dB(A).

Locais	dB(A)	NC
<b>Hospitais</b>		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 - 45	30 - 40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 - 50	35 - 45
Serviços	45 - 55	40 - 50
<b>Escolas</b>		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45	30 - 40
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Hotéis</b>		
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Restaurantes, Salas de Estar	40 - 50	35 - 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Residências</b>		
Dormitórios	35 - 45	30 - 40
Salas de estar	40 - 50	35 - 45
<b>Auditórios</b>		
Salas de concertos, Teatros	30 - 40	25 - 30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 - 45	30 - 35
<b>Restaurantes</b>	40 - 50	35 - 45
<b>Escritórios</b>		
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
<b>Igrejas e Templos (Cultos meditativos)</b>	40 - 50	35 - 45
<b>Locais para esporte</b>		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

Fonte: ABNT, 1987, P.2.

O nível de pressão sonora, ou seja, o ruído do ambiente pode ser medido, e esses dados obtidos são os principais métodos para resolver problemas em um local ou até mesmo avaliar os riscos que existem. E essas medições são feitas por equipamentos específicos de medição de nível de pressão sonora, que são comumente chamados de decibelímetros, e os mesmos devem estar de acordo com as normas IEC-651 Classe II e ANSI S1.4 Classe II para Medidores de Nível Sonoro. (MINIPA, 2002).

Essas medições que são feitas pelos decibelímetros são de acordo com a sensibilidade do ouvido humano, baseando-se na frequência do som existente no ambiente. O método mais utilizado para medição de ruído, pois é confiável e eficiente, sendo utilizado em perícias judiciais, ambientes de trabalho, como resultado técnico, desde que o equipamento esteja calibrado. De forma simples e rápida se pode quantificar o ruído existente no local analisado. Esse resultado é dado em decibéis (dB).

Os decibelímetros possuem em sua estrutura: microfone, atenuador, visor digital ou analógico graduado em dB, duas curvas de ponderação (A ou C), circuitos de equalização,

atenuador e circuitos de integração. Essas peças em conjunto são responsáveis pelo resultado do equipamento. (FERNANDES, 2000).

As curvas de ponderação são divididas em A ou C, devido ao objeto de estudo. A curva A atenua os sons graves, sensíveis à audição humana, e levemente os sons agudos. E a curva C foi incorporada para medições de baixa frequência.

A NBR 10151, da ABNT, de junho de 2000, determina os parâmetros para avaliação de ruído em áreas habitadas. Em ambientes internos, as medições devem ser efetuadas a uma distância de no mínimo um metro de quaisquer superfícies, como paredes, tetos, pisos e móveis. Devem ser medidos em três posições distintas, sempre afastadas entre si em 0.5 metros. As medições devem ser feitas na situação normal do ambiente. (ABNT, 2000).

Abaixo, na figura 16, pode ser visto a figura de um decibelímetro, utilizado para as medições de ruídos em ambientes diversos.

Figura 16: Decibelímetro INSTRUTHERM DEC-460.



Fonte: do autor, 2017.

### 2.4.3 Teste de Transferência Térmica

O calor é definido como o trânsito de energia que ocorre devido à diferença de temperatura entre dois pontos. Esse fluxo gera um diferencial de temperatura, em que o trânsito da energia sempre flui do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura. (INCROPERA, 1992).

A transferência de calor existente entre dois corpos, sendo sem mudança de estado físico, denomina-se troca seca, caracterizando-se como calor sensível. A transferência citada ocorre pelo meio de três fenômenos, que são condução, convecção e radiação. (BAËTA, 1997).

As construções civis ou equipamentos muitas vezes necessitam de certa resistividade da transferência de calor, seja para o conforto habitacional ou para controle eficaz de um processo empresarial. Esses requisitos podem ser atendidos por implantações de isolantes adequados a necessidade.

A NBR 15575-1/2013 trata das condições que expressam qualitativamente os atributos que o edifício habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender as necessidades dos usuários. A NBR 15575 está dividida em seis partes, a primeira parte apresenta os objetivos gerais, as demais apresentam assuntos específicos. (ABNT, 2013).

O desempenho térmico adequado de uma estrutura resulta em um conforto no ambiente em que pessoas habitam, dando condições adequadas a atividades diárias. Nas partes 4 e 5 da norma, específica o procedimento simplificado de análise, constando os índices que devem ser atendidos em paredes, coberturas e construção de um modo geral. Essa análise pode ser feita por meio de simulação computacional, seguindo critérios da norma. (id ibid, 2013).

Os critérios para o desempenho térmico da NBR 15575 são determinados por sistemas computacionais, tendo como base um dia típico de verão e um dia típico de inverno na região. No verão, deve ser adotada a temperatura máxima no interior da peça como menor ou igual à temperatura máxima no ambiente externo. Já no inverno a temperatura mínima no interior deve ser sempre 3°C a mais que a temperatura mínima do exterior. (id ibid, 2013).

Essa transferência de calor pode ocorrer, como já dito, por condução, convecção e radiação. Para estudo do transporte do calor entre os meios devem ser analisado os três fenômenos, dependendo da situação. A convecção é o calor transferido entre o sólido e um fluido em movimento, sem contato direto. A radiação é transferida por ondas eletromagnéticas. As duas últimas não são objeto de estudo no caso.

A condução ocorre via contato direto entre os corpos com temperaturas diferentes. O processo refere-se somente aos sólidos, embora seja visto em outros estados, pois ocorre sem movimentação de moléculas, processo determinante para a condução de energia.

A equação que permite quantificar esse fluxo de calor correlaciona o material, a espessura do elemento e o gradiente de temperatura, de forma linear. A constante que

caracteriza se o material é bom ou mau condutor de calor chama-se condutividade térmica (k). (RODRIGUES, 1998).

Para quantificar a temperatura existente em um material existem alguns equipamentos capazes de medir essa grandeza. Os termovisores demonstram através do mapeamento do objeto ou do corpo analisado, as diferentes temperaturas captadas em cada ponto, permitindo a visualização dentro da faixa do espectro vermelho. Na figura 17 observa-se um termovisor utilizado para medir a diferença de temperatura existente entre um lado exterior e interior.

A termografia capta a radiação térmica que os objetos emitem e a convertem em uma imagem, em que permite visualizar a distribuição da temperatura da região observada, por um instrumento denominado termovisor. (GAUSSORGUES, 1994).

Figura 17: TermovisorFlukeThermalImager.



Fonte: do autor, 2017.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 A PESQUISA CIENTÍFICA

Pesquisar cientificamente significa, sobretudo um rompimento com as formas tradicionais e memorísticas de reprodução de conteúdos e contextos sociais. A estrutura educacional que se vivencia foi mundialmente refutada já no início do século passado. Por isso, com o advento da teoria histórico-cultural, a partir das ideias de Levi Vygotsky, o mundo adota a forma significativa de construção de conhecimento que tem na pesquisa seu princípio norteador.

[...] o conceito de pesquisa inclui sofisticação e a especialidade, mas nisto jamais se esgota. O signo central da pesquisa é o questionamento sistemático, crítico e criativo, mais a intervenção competente na realidade, ou o diálogo crítico permanente com a realidade, em sentido teórico e prático, (DEMO, 2012, p. 36).

Como se não bastasse, a pesquisa científica, de acordo com o mesmo autor (2012), faz com que o pesquisador seja protagonista do processo do conhecimento com autonomia e sempre na vanguarda das transformações da ciência.

Dessa forma, o pesquisador adquire competência interpretativa e crítica e possui habilidade para realizar as necessárias intervenções no cenário social, atualmente tão vilipendiado.

#### 3.2 TIPO DE PESQUISA REALIZADA

A pesquisa realizada foi de abordagem quantitativa, de nível exploratório e com método de procedimento experimental. A abordagem foi definida após rigoroso planejamento e considerando-se a necessidade de ensaios laboratoriais com resíduos de lã de rocha e poliuretano para conseguir responder à questão central do estudo. O método de abordagem determinado, quantitativo, decorreu por possibilitarem uma fiel descrição dos resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados.

O nível, exploratório, foi determinado por dois aspectos inter-relacionados. O pouco conhecimento do investigador sobre o tema em estudo e, de outro lado, a escassez de material bibliográfico disponível sobre o tema em estudo.

São desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral de tipo aproximativo acerca de determinado fato. Esse tipo de pesquisa é realizada quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionáveis. (GIL, 1999, p. 43).

Por caracterizar-se como estudo exploratório, não se realizou manipulação de variáveis, condição para esse nível de investigação.

O método de procedimento escolhido para o estudo foi a pesquisa experimental, pois através dela, com a adoção de hipóteses secundárias, realizou-se a investigação até que se chegasse à resposta ao problema, através da identificação de possibilidade de reuso para os resíduos descritos, a lã de rocha e o poliuretano.

De acordo com Kerlinger (2003, p. 105), “o delineamento da pesquisa é a disciplina dos dados. Sua finalidade implícita é impor restrições controladas às observações de fenômenos naturais”. Esse controle foi realizado sempre na busca do alcance dos objetivos operacionais (específicos).

### 3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A população destinada ao estudo corresponde a totalidade dos resíduos de lã de rocha e poliuretano, gerados pela empresa estudada B. A amostra foi composta por aproximadamente 300gramas de lã de rocha e 300 gramas de poliuretano, obtidos aleatoriamente do estoque de descarte identificado.

As amostras foram recolhidas a partir de uma altura de 100 cm do monte estocado para que se evitasse a presença de ocasionais contaminantes sólidos ao material recolhido, tanto de lã de rocha quanto de poliuretano.

#### 3.3.1 Instrumentos de Coleta de Dados

Os dados foram coletados através de testes realizados em laboratórios, seguindo as suas respectivas normas. Posteriormente a fabricação das placas poliméricas através de um moinho de facas e uma prensa hidráulicaEngEnova (figura 11), foram realizados os testes: teste de tração, teste de condutividade térmica e teste de nível de ruído.

O teste de tração foi realizado na máquina de testeEmicDL2000 (figura 14), seguindo a norma D 638-2a, da ASTM, com as devidas dimensões. O teste de acústico foi realizado em um decibelímetro InstruthermDEC-460 (figura 16), seguindo os parâmetros de medição da NBR 10151. Já o teste de condutividade térmica foi realizado em um TermovisorFlukeThermalImager (Figura 17), seguindo a NBR 15575/2013.

### 3.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Os resíduos foram coletados no depósito da central de resíduos da Empresa A, situado dentro da Empresa B, e foram escolhidos como já dito, sem qualquer tipo de contaminação. Esses resíduos foram gerados no processo em um todo para operação e funcionamento da Usina Termoelétrica.

Após coletados, o poliuretano e a lã de rocha foram triturados separadamente para obtenção de uma menor granulometria. Com os materiais moídos foi possível realizar uma mistura de forma homogênea, para formação das placas em diferentes proporções em massa, para posterior realização dos testes desejados.

As placas foram realizadas em diferentes percentuais de materiais para análise dos resultados, mostrando assim qual composição obteria melhores resultados. Os compósitos foram preparados de 20 até 80% em massa de lã de rocha em PU, com intervalos de 20%. Não foi possível formar proporções maiores, visto que o polímero não agregava mais as partículas de lã de rocha. Também foi feita uma placa de PU, sem agregar lã de rocha, para comparação.

Os corpos de prova foram preparados em uma prensa hidráulica a uma temperatura de 150°C, tempo de termoformagem de 5 minutos e a uma pressão de 110bar e com dimensões do molde de 8,1 cm de largura, 19,5 cm de comprimento. Para os valores percentuais citados, consideram-se todos como base mássica.

Com as placas feitas em diferentes proporções foram realizados alguns testes, entre tração, acústica e transferência térmica. O teste de tração foi desenvolvido em uma máquina em laboratório específico que opera com as normas de materiais poliméricos, o teste acústico com o decibelímetro seguindo a NBR para método de avaliação e medição, e para a transferência térmica foi utilizado o termovisor analisando a condutividade de calor transferido na placa durante um tempo. Para cada tipo de análise foram feitos os ensaios em triplicata.

### 3.5 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os corpos de prova inicialmente possuíam dimensões de 8,1 cm de largura, 19,5 cm de comprimento e aproximadamente 0,4 cm de espessura. Podem ser vistas duas das mesmas na figura 18.

Figura 18: Placas poliméricas 100% PU (à esquerda) e 80% lã de rocha (à direita).



Fonte: do autor, 2017.

As placas produzidas apresentaram características satisfatórias desde o primeiro momento, visualmente, pois não eram quebradiças. Foi notório que as placas iam mudando sua coloração com o aumento do percentual de lã de rocha, caracterizando o material impregnado e que a resistência também aumentava, tornando-se mais rígida com a lã de rocha incorporada. Posteriormente, os testes de tração confirmariam as análises preliminares.

Os resultados do teste de tração podem ser observados na tabela 01:

Tabela 1: Resultado do teste de tração.

<b>Tipo de Placa</b>	<b>Força Aplicada (Kgf)</b>	<b>Alongamento (%)</b>	<b>Tensão Nominal (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformação Nominal</b>
<b>100% PU</b>	18,7	1,7	17,31	0,017
<b>20% Lã de Rocha</b>	25,0	3,6	23,15	0,036
<b>40% Lã de Rocha</b>	26,7	2,75	24,72	0,0275
<b>60% Lã de Rocha</b>	28,3	2,3	26,20	0,023
<b>80% Lã de Rocha</b>	29,7	2,0	27,5	0,020

Fonte: do autor, 2017.

Em se tratando do teste de tração, pode-se perceber que com o aumento do percentual de lã de rocha impregnado no material polimérico, houve um aumento significativo na resistência da placa. Passando a romper o material com uma diferença de 11 Kgf, do corpo com 100% PU em comparação com o corpo de prova com 80% lã de rocha. Percebe-se, no entanto que a mistura obteve bons aspectos neste parâmetro analisado e se torna eficaz para aplicações onde exista grande desgaste mecânico.

A deformação nominal mostrou que a placa composta somente por PU e a placa com 80% de lã de rocha apresentaram melhores resultados, quando se trata da deformação que demonstra com a aplicação de uma força. Já a tensão nominal apresenta a placa com 80% de lã de rocha com melhores resultados, suportando maior força por área.

Os testes de acústica, medidos através do decibelímetro apresentaram os resultados da tabela 02:

Tabela 2: Medição do ruído em dB(A).

<b>Tipo de Placa</b>	<b>Ruído</b>
<b>100% PU</b>	70,8
<b>20% Lã de Rocha</b>	69,8
<b>40% Lã de Rocha</b>	68,5
<b>60% Lã de Rocha</b>	68,0
<b>80% Lã de Rocha</b>	67,8

Fonte: do autor, 2017.

Avaliando os resultados da medição dos ruídos dentro de um meio, em que o ambiente indicava 81,2 dB(A), após a colocação das respectivas placas apresentam os dados

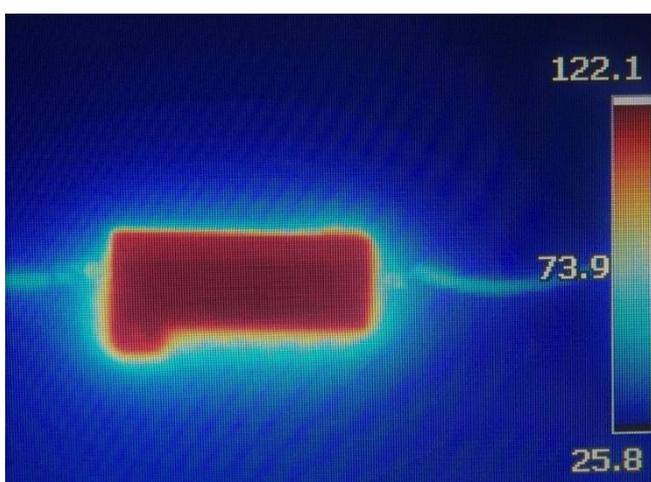
vistos na tabela 02. Com isso, percebe-se que somente o poliuretano puro já apresentou um resultado significativo, reduzindo o ruído em 10,4dB(A). Logo, com a impregnação da lã de rocha aumentou a eficiência neste quesito, resultando em uma diferença entre o ambiente e o material isolado de 13,4 dB(A). Segundo Liborio (2009), a barreira feita pela lã de rocha a caracteriza como excelente isolante acústico.

Com os resultados e as análises, percebeu-se que a utilização da mistura em ambientes que tenham o intuito de não propagar som, ou que queiram certas confidencialidades como no caso de repartições financeiras e públicas, os corpos apresentariam grande eficiência, contudo tendo o baixo custo envolvido.

De acordo com Young (1987), os poliuretanos possuem resistência mecânica devido as suas propriedades físico-químicas que justificam os resultados, possuindo grande eficiência em aplicações como isolantes acústicos, como demonstrados no teste, e térmicos como serão analisados a seguir.

O teste de transferência de calor realizado pelo termovisor foi operado com uma temperatura de fonte de calor com aproximadamente 122°C. A figura 19 mostra a fonte de calor através da imagem captada pelo termovisor, demonstrando a uniformidade da temperatura da fonte de calor através do vermelho intenso.

Figura 19: Fonte de calor sem placas isolantes.

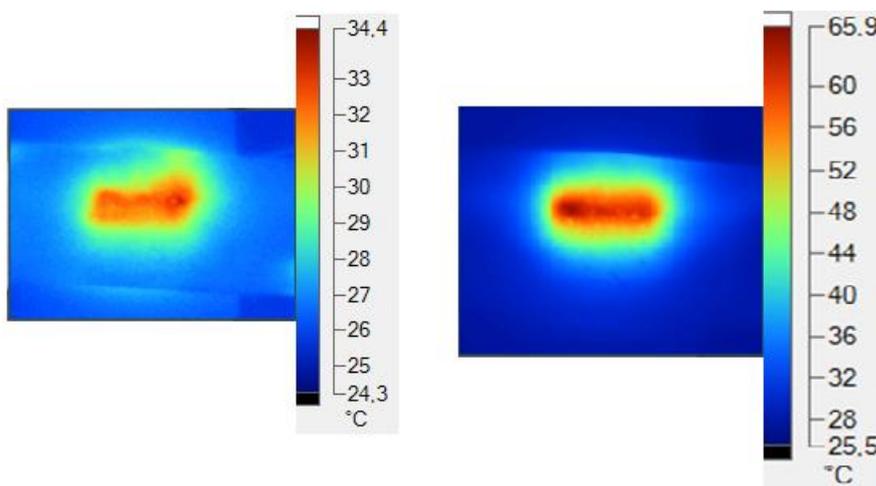


Fonte: do autor, 2017.

Após analisada a temperatura da fonte de calor através do termovisor, as placas foram submetidas em contato com a fonte em diferentes momentos e foram captadas as imagens do termovisor no momento do contato com a placa e três minutos após o contato, respectivamente, que serão apresentados nas figuras a seguir.

A figura 20 representa a imagem capturada pelo equipamento após a colocação da placa constituída com 100% de material polimérico, em contato direto no instante, lado esquerdo, e após três minutos, lado direito da figura.

Figura 20: Placa 100% PU.

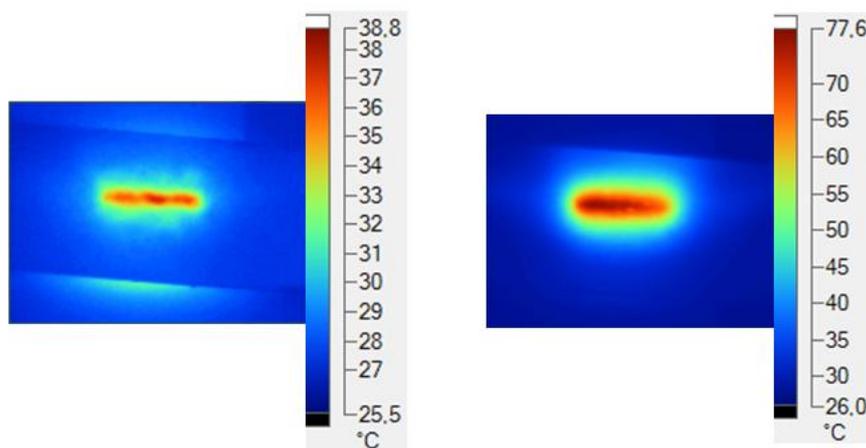


Fonte: do autor, 2017.

Percebe-se que a placa isolou em primeiro instante, reduzindo a temperatura no ponto mais quente para 34,4°C. E após três minutos indicou temperatura de 65,9°C. O vermelho intenso é visto em menor proporção que na fonte de calor, porém apresentou certa transferência do calor em toda a placa, com uma grande área com coloração vermelha.

A figura 21 representa o contato da placa com 20% de lã de rocha, no instante (lado esquerdo) e após três minutos de contato (lado direito).

Figura 21: Placa 20% lã de rocha.

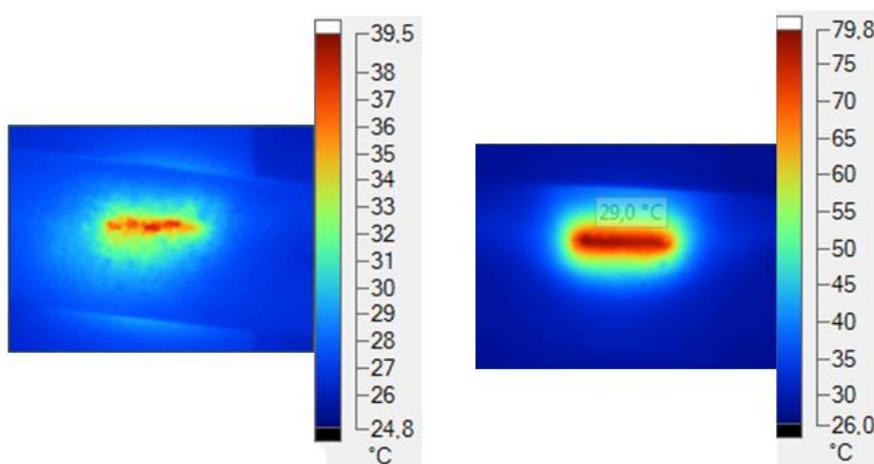


Fonte: do autor, 2017.

A temperatura observada após a colocação do isolante apresentou temperatura no ponto mais quente de  $38,8^{\circ}\text{C}$  e no decorrer dos três minutos foi indicado a temperatura máxima de  $77,6^{\circ}\text{C}$ . Pela coloração, o vermelho apresentou menor área, comparando com a figura anterior.

Na figura 22 é demonstrado o comportamento da placa com 40% de lã de rocha, com as variações de temperatura ao longo do tempo e o comportamento da transferência de calor pela placa. Do lado esquerdo caracteriza-se o momento do contato e no lado direito após três minutos de contato com a fonte de calor.

Figura 22: Placa 40% lã de rocha.

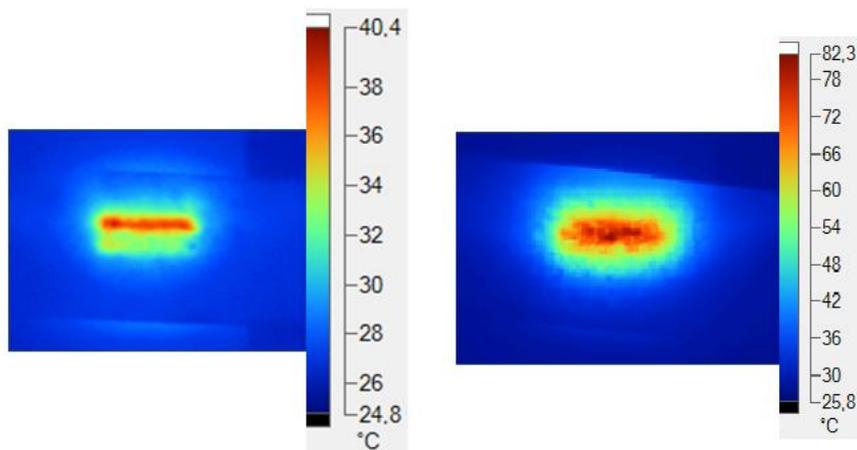


Fonte: do autor, 2017.

No instante, o termovisor captou a temperatura máxima de  $39,5^{\circ}\text{C}$  e após o tempo indicado, houve um aumento para  $79,8^{\circ}\text{C}$  no ponto mais quente. Em se tratando da coloração, continuou seguindo o padrão da figura anterior, e diferente da placa com 0% de lã de rocha.

Na figura 23, representa-se o corpo de prova com 60% de lã de rocha, imagens salvas pelo termovisor no instante do contato com a fonte de calor (lado esquerdo) e após o tempo de três minutos em contato (lado direito).

Figura 23: Placa 60% lã de rocha.

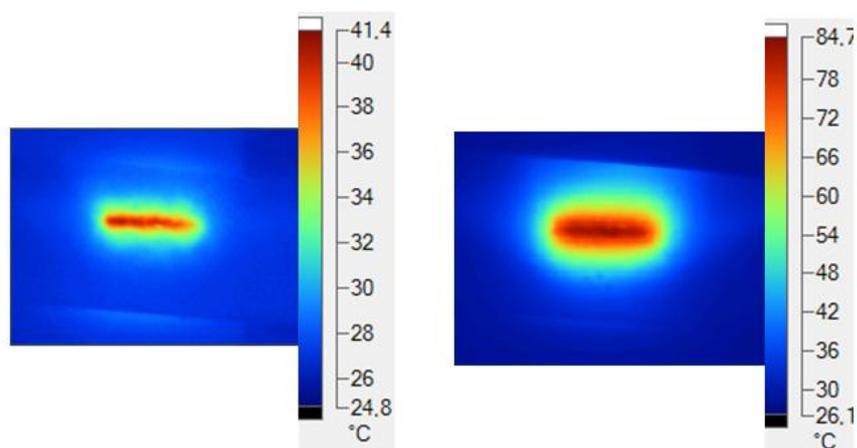


Fonte: do autor, 2017.

Percebe-se que a placa isolou em primeiro instante, reduzindo a temperatura no ponto mais quente para 40,4°C. E após três minutos indicou temperatura de 82,3°C. A coloração vermelha mais intensa é vista em pontos restritos.

E por último, na figura 24, o teste de transferência de calor foi realizado na placa com 80% de lã de rocha, em que seguiu os tempos de contato das análises anteriores, do lado esquerdo e direito, respectivamente.

Figura 24: Placa 80% lã de rocha.



Fonte: do autor, 2017.

O aumento da temperatura de 41,4°C no instante do contato para 84,7°C após o contato de três minutos seguiu os padrões das placas anteriores. A coloração seguiu os padrões das placas com lã de rocha.

É notório que a temperatura máxima observada foi apresentando aumento conforme o percentual de fibra impregnado. Isso pode ser explicado através do coeficiente de condutividade térmica do PU e da lã de rocha, sendo 0,02 e 0,033 respectivamente. Segundo Rodrigues (1998), o que caracteriza um material como mau ou bom isolante térmico é o valor do coeficiente de condutividade térmica, que quanto menor, maior a eficiência, transferindo menos calor. Embora os dois apresentem coeficientes baixos de transferência, existe uma pequena diferença.

É interessante lembrar que as placas foram submetidas à temperatura elevada, através da fonte de calor, por isso apresentaram variações significativas. Se submetidas a uma fonte de calor com temperatura menor, temperatura ambiente, as variâncias seriam insignificantes.

De um modo geral, analisando todos os testes feitos, as placas apresentaram bons resultados, sendo satisfatórios e com características específicas para cada caso. Sendo que para necessidade de isolamento acústico e resistência à tração é interessante a aplicação das peças com maior quantidade de fibra impregnada. Porém para utilização como isolante térmico a uma temperatura consideravelmente alta é mais eficiente utilizar o material totalmente polimérico, porém o PU não suporta altas temperaturas.

## 4 CONCLUSÃO

Com a grande quantidade de resíduos provenientes da empresa B em seu processo de geração de energia elétrica através do Complexo Termoelétrico, estudar soluções econômicas e ambientalmente viáveis para o reaproveitamento dos mesmos foi de suma importância.

Quantificando os resíduos gerados no último relatório anual da empresa A, e que esses tem como destino o aterro sanitário, por fim foram encontrados novos destinos, esses sustentáveis, tendo em vista o potencial dos materiais poliméricos e das fibras como isolantes.

Com a incorporação da lã de rocha no poliuretano em diferentes proporções percebeu-se a formação de um compósito rígido e resistente, com boa homogeneidade e que possivelmente após os testes poderia se definir o real comportamento da mistura.

Os testes realizados mostraram os resultados satisfatórios para aplicação como isolantes térmicos e acústicos. Puderam ser submetidos a grandes forças para que houvesse o rompimento, mostraram-se eficientes no isolamento acústico, reduzindo grandemente o nível de ruído dos ambientes, além de demonstrar elevada resistência à troca de calor, diminuindo a temperatura do lado oposto da fonte de calor e não o conduzindo ao longo da placa ao longo do tempo.

Esse estudo levanta uma questão socioeconômica importante, pois além do baixo custo para a produção, traz benefícios para o meio ambiente, e pode ser adquirido independente do caráter econômico. Se aplicados em ambientes pode reduzir o consumo de energia elétrica pelo seu potencial de isolante térmico. Além de isolar áreas que necessitem de confidencialidade, como divisórias para escritórios, e diminuir as oscilações de temperaturas nos ambientes.

Como todo estudo exploratório, houve dificuldades em alguns pontos da realização do relatório de estágio, principalmente na realização dos testes, pois a busca pelos equipamentos adequados e a burocratização para a sua utilização atrasaram e dificultaram a realização. Sugere-se para uma futura especialização ou para novos colegas pesquisadores, realizar um estudo econômico-financeiro, sendo que o presente relatório fez um estudo técnico, desenvolver um tratamento químico simples e de baixo custo na placa, para poliuretano se tornar não inflamável e também realizar o teste de transferência de calor com fontes de calor em temperaturas mais baixas, pois não foi possível realizar no presente estudo, devido ao tempo disponível.

Além de proporcionar a obtenção do conhecimento técnico, este relatório de estágio fomenta o intuito do curso de Engenharia Química da Unisul, que é formar um engenheiro empreendedor, que se preocupa com o meio, e ao mesmo tempo tenta ao máximo buscar soluções para os problemas da sociedade, empreendendo, pesquisando, assim, contribuindo para formação de um futuro melhor para todos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004; 2004: Resíduos Sólidos: Classificação**. 2004. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ. 2004.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10151. Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, visando o conforto da Comunidade – Procedimento**. . Rio de Janeiro, RJ. 2000.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10152. Níveis de Ruído para Conforto Acústico**. . Rio de Janeiro, RJ. 1987.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1. Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 1** . 2013. Rio de Janeiro, RJ. 2013.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo. 13. ed. 2015.
- AGNELLI, J.A.M. **Curso de Aperfeiçoamento em Tecnologia de Polímeros: Modulo 1 – Introdução a Materiais Poliméricos**. Núcleo de Reologia e Processamento de Polímeros. São Carlos. p.282. 2000.
- ASTM, American Society for Testing and Materials. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics D638-02a**. United States. 2003.
- BAETA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em Edificações Rurais – Conforto Animal**. Viçosa. UFV. p.246. 1997.
- BRASIL A. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **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/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 15set. 2017.
- CALDERONI S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 2. ed. São Paulo, Humanitas. 1998. p.38.
- CHENG, A; LIN, W-T; HUANG, R. **Application of Rock Wool Waste in Cement-based Composites**. Taiwan, v. 32, p.636-642. Materials and Design. Elsevier. 2010.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.
- EMPRESA A. **Apresentação Anual da Gestão de Resíduos da Empresa B – 2016**. Santa Catarina, 2016.
- FERNANDES J.C. **Acústica e Ruídos: Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho**. Bauru. UNESP. p.51. 2000.
- GAUSSORGUES, G. **Infrared Thermography**. 1994.

- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.
- HIBBELER, R.C. Resistência dos Materiais. 5 ed. Pearson Prentice. São Paulo. 2004.
- INCROPERA F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE A.S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6 ed. p.643. 2008.
- KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. 9. ed. Tradução: Helena Mendes Rotundo. São Paulo: EPU, 2003. 378 p.
- LA ROCHA, Indústria e Comércio de Fibras Minerais LTDA. **Apresentação Lã de Rocha**. 2017. Disponível em: <http://www.larocha.com/index>. Acesso em: 15set. 2017.
- LIBORIO, Jefferson Benedicto Libardi. **Revista Concreto e Construções**. São Paulo: Ibracon. Vol. 55, p.48-54. 2009.
- MICHAELIS. **O Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/lixo/>. Acesso em: 15set. 2017.
- MINIPA. **Manual de Instruções do Decibelímetro Digital: Modelo MSL – 1352C**. São Paulo. p.30. São Paulo. 2002.
- OLIVEIRA WE. **Resíduos sólidos e limpeza pública**. In: Philippi Jr A, organizador. Saneamento do meio. São Paulo: FUNDACENTRO; 1992.p.81-114.
- PETERS, Max S.; TIMMERHAUS, Klaus D.; WEST, Ronald E. **Plant Design and Economics for Chemical Engineers**. 5<sup>th</sup> Edition. New York: McGraw-Hill's – Chemical Engineering Series, 2003.
- PIMENTA, Handson Claudio Dias; GOUVINHAS, Reidson Pereira. **Implementação da Produção Mais Limpas na Indústria de Panificação**. Natal-RN. 2007.
- REYNOLDS, W.C. **Thermodynamics**. Internacional Student Edition. Tokyo. p. 173. 1986.
- ROCKFIBRAS. **Catálogo de Produtos**. Disponível em: <http://www.rockfibras.com.br>. Acesso em: 15set. 2017.
- RODRIGUES, E.H.V. **Desenvolvimento e Avaliação de um Sistema de Resfriamento Evaporativo, por Asperção Intermitente, na Cobertura de Aviários Usando Modelos de Escala Distorcida**. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 1998.
- SANTOS, R.D. **Estudo Térmico e de Materiais de um Compósito a Base de Gesso e EPS para Construção de Casa Populares**. Natal. p.11. 2008.

SOMANI, K. P. **Castor oil based polyurethane adhesives for wood-to-wood bonding.** International Journal of Adhesion & Adhesives. New Delhi. v.23. p.269-275. 2003.

STROBECH, C. **Polyurethane Adhesives.** International Journal of Adhesion & Adhesives, Guildford. v.3. p.225-228. 1990.

VILAR, W. D. **Química e tecnologia dos poliuretanos.** 1.ed. Rio de Janeiro, 1993.

VILAR, W. D. **Química e tecnologia dos poliuretanos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 2000.

VILAR, W. D. **Química e tecnologia dos poliuretanos.** 3.ed. Rio de Janeiro, 2002.

YOUNG, H.D. **University Physics.** Tabela 15-5. Editora: Mass. 7. ed. 1987.

ZECK, S.E.C. **Utilização de Espumas Uretânicas no Tratamento de Óleo Mineral Isolante Contaminado Com PCB.** (Dissertação de Mestrado). UFPR. Curitiba. 2004.

**ANEXOS**

## ANEXO A – Caracterização do Resíduo de Lã de Rocha

DADOS DO LOCAL DE AMOSTRAGEM	
<b>Protocolo:</b> 6041.2015_RS_4_1	<b>Técnico de Amostragem:</b> Cliente: -
<b>Matriz:</b> Resíduo Sólido	<b>Data Amostragem:</b>
<b>Data Recebimento:</b> 14/08/2015	
<b>Data Início Análises:</b> 18/08/2015	
<b>Tipo de Amostra:</b> Amostra 4 Lã de Rocha	
<b>1ª Legislação:</b> ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos - Lixiviação e Solubilização	

PARÂMETRO	LEGISLAÇÃO	RESULTADO	UNIDADE
Corrosividade	-	Ausência	-
Inflamabilidade	-	Ausência	-
Lixiviado - Arsênio	1,0 mg/L	< 0,001	mg As/L
Lixiviado - Bário Total	70,0 mg/L	< 0,200	mg Ba/L
Lixiviado - Cádmio Total	0,5 mg/L	0,002	mg Cd/L
Lixiviado - Chumbo	1,0 mg/L	< 0,010	mg Pb/L
Lixiviado - Cromo Total	5,0 mg/L	< 0,031	mg Cr/L
Lixiviado - Mercúrio	0,1 mg/L	< 0,001	mg Hg/L
Massa Bruta - Cianeto	250 mg/kg	<0,010	mg/kg
Massa Bruta - pH	entre 2 e 12,5 pH a 25°C	7,30	pH a 25°C
Massa Bruta - Sulfeto	500 mg/kg	0,977	mg/kg
Reatividade	-	Não reativo	-
Solubilizado - Arsênio	0,01 mg/L	< 0,001	mg As/L
Solubilizado - Bário Total	0,7 mg/L	< 0,200	mg Ba/L
Solubilizado - Cádmio Total	0,005 mg/L	0,003	mg Cd/L
Solubilizado - Chumbo	0,01 mg/L	< 0,010	mg Pb/L
Solubilizado - Cianeto Total	0,07 mg/L	0,001	mg CN -/L
Solubilizado - Cobre	2,0 mg/L	0,038	mg Cu/L
Solubilizado - Cromo Total	0,05 mg/L	< 0,031	mg Cr/L
Solubilizado - Fenóis Totais	0,01 mg/L	0,090	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O/L
Solubilizado - Ferro	0,3 mg/L	0,496	mg Fe/L

### RELATÓRIO DE ENSAIO A\_6041.2015\_RS\_4\_1

PARÂMETRO	LEGISLAÇÃO	RESULTADO	UNIDADE
Solubilizado - Manganês Total	0,1 mg/L	0,292	mg Mn/L
Solubilizado - Mercúrio	0,001 mg/L	< 0,001	mg Hg/L
Solubilizado - Nitrato	-	2,0	mg NO <sub>3</sub> -/L
Solubilizado - Surfactantes Aniônicos	0,5 mg/L	0,450	mg/L
Solubilizado - Zinco	5,0 mg/L	0,321	mg Zn/L

Fonte: Empresa A, 2017.

## ANEXO B – Caracterização dos Resíduos Comuns

DADOS DO LOCAL DE AMOSTRAGEM	
Protocolo: 6041.2015_RS_1_1	Técnico de Amostragem: Cliente: -
Matriz: Resíduo Sólido	Data Amostragem:
Data Recebimento: 14/08/2015	
Data Início Análises: 18/08/2015	
Tipo de Amostra: Amostra 1 Resíduo Comum	
1ª Legislação: ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos - Lixiviação e Solubilização	

PARÂMETRO	LEGISLAÇÃO	RESULTADO	UNIDADE
Corrosividade	-	Ausência	-
Inflamabilidade	-	Ausência	-
Lixiviado - Arsênio	1,0 mg/L	< 0,001	mg As/L
Lixiviado - Bário Total	70,0 mg/L	< 0,200	mg Ba/L
Lixiviado - Cádmio Total	0,5 mg/L	< 0,001	mg Cd/L
Lixiviado - Chumbo	1,0 mg/L	< 0,010	mg Pb/L
Lixiviado - Cromo Total	5,0 mg/L	< 0,031	mg Cr/L
Lixiviado - Mercúrio	0,1 mg/L	< 0,001	mg Hg/L
Massa Bruta - Cianeto	250 mg/kg	<0,010	mg/kg
Massa Bruta - pH	entre 2 e 12,5 pH a 25°C	5,98	pH a 25°C
Massa Bruta - Sulfeto	500 mg/kg	5,382	mg/kg
Reatividade	-	Não reativo	-
Solubilizado - Arsênio	0,01 mg/L	< 0,001	mg As/L
Solubilizado - Bário Total	0,7 mg/L	< 0,200	mg Ba/L
Solubilizado - Cádmio Total	0,005 mg/L	0,002	mg Cd/L
Solubilizado - Chumbo	0,01 mg/L	< 0,010	mg Pb/L
Solubilizado - Cianeto Total	0,07 mg/L	0,001	mg CN - /L
Solubilizado - Cobre	2,0 mg/L	0,014	mg Cu/L
Solubilizado - Cromo Total	0,05 mg/L	< 0,031	mg Cr/L

### RELATÓRIO DE ENSAIO A\_6041.2015\_RS\_1\_1 Rev\_1

PARÂMETRO	LEGISLAÇÃO	RESULTADO	UNIDADE
Solubilizado - Fenóis Totais	0,01 mg/L	1,190	mg C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O/L
Solubilizado - Ferro	0,3 mg/L	0,109	mg Fe/L
Solubilizado - Manganês Total	0,1 mg/L	< 0,020	mg Mn/L
Solubilizado - Mercúrio	0,001 mg/L	< 0,001	mg Hg/L
Solubilizado - Nitrato	-	4,0	mg NO <sub>3</sub> -/L
Solubilizado - Surfactantes Aniônicos	0,5 mg/L	0,530	mg/L
Solubilizado - Zinco	5,0 mg/L	< 0,065	mg Zn/L

Fonte: Empresa A, 2017.