

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
NÍVEL MESTRADO

**SELMA ARAÚJO CARRIJO**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO RESÍDUO DE GESSO GERADO EM CANTEIRO  
DE OBRA NO MUNICÍPIO DE MINEIROS – GO: ESTUDO DE CASO**

**SÃO LEOPOLDO  
2019**

SELMA ARAÚJO CARRIJO

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO RESÍDUO DE GESSO GERADO EM CANTEIRO  
DE OBRA NO MUNICÍPIO DE MINEIROS – GO: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Resíduos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Regina Célia Espinosa Modolo

São Leopoldo

2019

C316a Carrijo, Selma Araújo.  
Avaliação ambiental do resíduo de gesso gerado em canteiro de obra no município de Mineiros – GO: estudo de caso / Selma Araújo Carrijo. – 2019.  
84 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, 2019.

“Orientadora: Profa. Dra. Regina Célia Espinosa Modolo.”

1. Impacto ambiental. 2. Construção civil. 3. Canteiro de obras.  
4. Engenharia civil. 5. Gesso. I. Título.

CDU 691

SELMA ARAÚJO CARRIJO

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO RESÍDUO DE GESSO GERADO EM CANTEIRO  
DE OBRA NO MUNICÍPIO DE MINEIROS – GO: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento de Resíduos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 30 de abril de 2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Luiz Antônio da Cruz Tarelho – UNIVERSIDADE DE AVEIRO

---

Dra. Feliciane Andrade Brehm - UNISINOS

Dedico esta conquista a todos que me incentivaram e estiveram presentes durante toda esta jornada. Ao Claudir pelo apoio incondicional em todos os momentos, ao nosso filho Pedro Augusto há quem sempre foi compreensivo ainda pela sua pouca idade. Todo esse desafio de trilhar este novo caminho é uma conquista da nossa família.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem nos guia e ilumina na busca pela realização dos nossos sonhos.

A minha família, pelo apoio incondicional.

A Prof. Regina Célia, o meu reconhecimento pela oportunidade de realizar este trabalho ao lado desta pessoa de incrível sabedoria. O meu respeito e admiração pela sua serenidade, incentivo, paciência e pelo dom do ensino.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Unisinos, que contribuíram com minha formação e a conclusão deste trabalho através dos conhecimentos compartilhados.

A todos da secretaria do PPGEC, pelo apoio e prontidão em ajudar.

A todos os professores do NuCMat, em especial ao professor Carlos Alberto e toda a equipe que buscou a idealização deste projeto junto à Unifimes.

Aos colegas desta jornada pelo convívio e momentos de descontração.

À Unifimes, pelo apoio e oportunidade de conceder bolsa para a realização deste projeto.

“Nenhum vento sopra a favor de quem não sabe pra onde ir.”

(Sêneca)

## RESUMO

O objetivo deste estudo é a elaboração de um inventário do resíduo de gesso gerado em obras de construção civil, através de dados primários e de caracterizações com ênfase na mudança de classe do resíduo. A metodologia adotada para o desenvolvimento deste estudo envolveu a elaboração de inventário na perspectiva do Ciclo de Vida de um canteiro de obra, onde considerou a estimativa dos impactos ambientais potenciais do setor e se avaliou a mudança de classe do resíduo de gesso, de C para B em consonância com a Resolução 469 (CONAMA,2015). O Inventário do Ciclo de Vida se efetuou pelo uso de dados primários mensurados em uma obra. O estudo se constituiu de 5 etapas, sendo elas de diagnóstico do objeto de estudo, realizado in loco; o levantamento de dados primários de entradas e saídas de matéria-prima e resíduos de gesso; construção do inventário, seguindo o fluxo adaptado referente a condução de uma análise de inventário; identificação do destino final e os respectivos impactos potenciais do resíduo de gesso, através de comparação com estudos já realizados e levantamento in loco; e validação dos dados e comparação dos resultados obtidos no estudo com bases de dados de inventário existentes na perspectiva da alocação, considerando dois cenários, sendo eles, o da reciclagem do resíduo de gesso e a disposição em aterro. Os resultados obtidos mostraram que são gerados 1,59 kg de resíduo de gesso /m<sup>2</sup> de obra construída. Em relação aos impactos foi possível identificar que a disposição inadequada causa prejuízos no âmbito social, ambiental e econômico. Quanto a mudança de classe do resíduo de gesso de C para B, verificou-se que está diretamente relacionada as formas de reciclagem, anteriormente não consolidadas. Isto se deve ao fato que o resíduo de gesso segregado dos demais resíduos mantém as características químicas do mineral.

**Palavras-chave:** Resíduos de Gesso. Impacto ambiental. Classe do resíduo.



## ABSTRACT

The aim of this study is the elaboration of an inventory of the gypsum waste generated in civil construction works, through primary data and characterization with emphasis on the class change of the waste. The methodology adopted for the development of this study involved the elaboration of an inventory from the perspective of the Life Cycle of a construction site, where it considered the estimation of the potential environmental impacts of the sector and evaluated the change of class of the gypsum waste, from C to B in accordance with Resolution 469 of CONAMA. The Life Cycle Inventory was performed by the use of primary data measured in a work. The study consisted of 5 steps, being the diagnosis of the object of study, performed in loco; the collection of primary data on inputs and outputs of raw material and gypsum waste; construction of the inventory, following the adapted flow referring to the conduction of an inventory analysis; identification of the final destination and the respective potential impacts of the gypsum waste, by comparison with studies already carried out and survey in loco; and validation of the data and comparison of the results obtained in the study with existing inventory databases from the perspective of the allocation, considering two scenarios, such as the recycling of gypsum waste and landfill disposal. The results obtained show that 1.59 kg of waste/m<sup>2</sup> of constructed work is generated. Regarding the impacts, it was possible to identify that the inadequate disposal causes social, environmental and economic damages. Regarding the change of class of gypsum waste from C to B, it was verified that the previously unconsolidated forms of recycling are directly related. Because the gypsum waste separated from the other waste reacquires the chemical characteristics of the mineral.

**Key-words:** Gypsum waste. Environmental impact. Waste class.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução nas Resoluções do CONAMA .....	27
Figura 2 - Fases de uma ACV .....	38
Figura 3 - Procedimentos simplificados para análise de inventário .....	40
Figura 4 - Modelo de programa computacional para apoio a ACV .....	41
Figura 5 – Elementos da fase AICV .....	44
Figura 6 – Fases da etapa 2 da metodologia .....	48
Figura 7 – Modelo do diagrama de blocos .....	53
Figura 8 - Etapas da construção do forro de gesso: pó de gesso (A), mistura do pó de gesso com água (B), processo de homogeneização da mistura com sisal (C) e forro de gesso sendo executado (D) .....	56
Figura 9 - Geração do resíduo pelo manuseio (A) e armazenamento das placas (B) .....	57
Figura 10 - Pasta de gesso sendo passada para cobrir as juntas (A) e manuseio da pasta de gesso (B) .....	57
Figura 11 - Gesso finalizado (A) e gesso sendo lixado (B) .....	58
Figura 12 - Entrada de matérias-primas e saída do resíduo no processo de fabrico do forro de gesso .....	59
Figura 13 – Placa de gesso usada na obra em estudo .....	60
Figura 14 – A- Vista aérea do lixão da cidade de Mineiros-Go; B- Descarte dos resíduos de gesso .....	62
Figura 15 – Panorâmica da situação do aterro sanitário recebendo RCD. ....	63
Figura 16 – Resíduo de gesso descartado junto com diversos RCD próximo a margem de rio (A / C); Resíduos sendo descartados próximo ao ponto de geração (B); Resíduos de várias classes sendo utilizados para aterrar terrenos (D).....	64
Figura 17 - Curva de distribuição granulométrica .....	69
Figura 21 - Condução da análise do inventário .....	71
Figura 22 - Entradas e saídas da fronteira do sistema canteiro de obra .....	72



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Geração de resíduos durante as atividades de construção .....	26
Quadro 2 - Reciclagem do resíduo de gesso .....	31
Quadro 3 - Geração de resíduos na construção .....	33
Quadro 4 - Classificação dos resíduos segundo a NBR 10004.....	34
Quadro 5 - Importância da coleta de dados .....	42
Quadro 6 - Variedade das fontes de dados.....	42
Quadro 7 - Considerações para a seleção das categorias de impacto .....	43
Quadro 8 - Lista de categorias de impacto do guia ACV.....	43
Quadro 9 – Delineamento da pesquisa .....	46
Quadro 10 - Modelo utilizado para identificação dos aspectos e impactos ambientais .....	49
Quadro 11 – Classificação dos impactos ambientais.....	49
Quadro 12 – Critérios de abrangência .....	49
Quadro 13 – Critérios de Severidade .....	50
Quadro 14 – Critérios de Frequência .....	50
Quadro 15 – Classificação da pontuação dos impactos ambientais .....	50
Quadro 16 – Avaliação dos aspectos e impactos ambientais da disposição do resíduo de gesso e manuseio do gesso.....	51
Quadro 17 - Requisitos de qualidade de dados.....	53
Quadro 18 - Potencias de reciclagem do resíduo de gesso.....	54
Quadro 19 - Disposição do Resíduo de Gesso .....	61
Quadro 20 – Identificação dos aspectos e impactos ambientais.....	65
Quadro 21 - Avaliação dos aspectos e impactos ambientais da disposição do resíduo de gesso e manuseio do gesso.....	67
Quadro 22 - Geração de resíduos na cadeia produtiva do gesso.....	68
Quadro 23 – Índice de qualidade dos dados obtidos, baseado na metodologia de Weidema (1998).....	73
Quadro 24 - Reciclagem do resíduo de gesso .....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos físicos e mecânicos do gesso para construção civil .....	20
Tabela 2 - Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega) .....	20
Tabela 3 - Requisitos físicos do gesso para construção civil (granulometria via seca) .....	20
Tabela 4 - Requisitos químicas do gesso sem aditivos para construção civil .....	21
Tabela 5 - Variações das propriedades dos gessos brasileiros de construção .....	21
Tabela 6 – Classificação de acordo com a Resolução n° 307 (CONAMA, 2002) .....	27
Tabela 7 – Classificação de acordo com a Resolução n° 469 .....	28
Tabela 8 - Formas de destinação dos resíduos da construção civil .....	29
Tabela 9 - Ensaios e suas siglas.....	51
Tabela 10 - Características das placas de gesso.....	55
Tabela 11 - Quantificação mássica das placas de gesso.....	60
Tabela 12 – Granulometria do resíduo de gesso e percentuais de massa retida.....	69
Tabela 13 – Granulometria do resíduo de gesso apresentada por Pinheiro (2011) ..	70
Tabela 14 – Teor de umidade .....	70

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAGESSO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Gesso e Chapas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ATD	Análise Térmica Diferencial
ATG	Análise termogravimétrica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DG	Distribuição Granulométrica
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
pH	potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SINDUSGESSO	Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco
TU	Teor de Umidade

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2 DELIMITAÇÕES</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA</b> .....	<b>18</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 GESSO UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.1 O uso do gesso na construção civil e suas aplicações</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1.2 Origem e características dos resíduos de gesso</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.3 Resíduos de gesso produzidos pela construção civil</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2 CLASSIFICAÇÃO DO GESSO DE ACORDO COM O CONAMA</b> .....	<b>26</b>
<b>2.3 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A MUDANÇA DE CLASSE</b> ..	<b>29</b>
<b>2.3.1 Critérios para o resíduo ser classe B</b> .....	<b>30</b>
<b>2.3.2 Formas de reciclagem</b> .....	<b>30</b>
<b>2.4 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>31</b>
<b>2.5 LEGISLAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>33</b>
<b>2.6 SÉRIE ISO 14000</b> .....	<b>35</b>
<b>2.7 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO ÂMBITO DA POLÍTICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)</b> .....	<b>36</b>
<b>2.7.1 Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida</b> .....	<b>37</b>
<b>2.7.2 Inventário de Ciclo de Vida</b> .....	<b>39</b>
<b>2.7.2.1 Bancos de dados de apoio ao Inventário</b> .....	<b>40</b>
<b>2.7.2.2 Metodologias usadas no levantamento de dados de inventário</b> .....	<b>41</b>
<b>2.8 CATEGORIAS DE IMPACTO AMBIENTAIS</b> .....	<b>42</b>
<b>2.9 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA COMO INSTRUMENTO NA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS</b> .....	<b>44</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO</b> .....	<b>45</b>
<b>3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA</b> .....	<b>45</b>

<b>3.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.1 Etapa 1 - Diagnóstico dos resíduos de gesso gerados em obras: Coleta .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.2 Etapa 2 - Identificação e análise dos impactos ambientais associados a disposição final dos resíduos .....</b>	<b>47</b>
3.3.2.1 Primeira fase: Identificação das áreas de disposição final dos resíduos de gesso.....	48
3.3.2.2 Segunda fase: Caracterização físico-química dos resíduos de gesso .....	51
<b>3.3.3 Etapa 3 – Elaboração do Inventário (balanço mássico) no âmbito do ciclo de vida .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.4 Etapa 4 – Fundamentação da mudança de classe do gesso.....</b>	<b>54</b>
<b>4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1 DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS DE GESSO GERADOS .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO FINAL DO RESÍDUO DE GESSO .....</b>	<b>60</b>
4.2.1 Primeira fase: Identificação das áreas de disposição final dos resíduos de gesso.....	60
4.2.2 Segunda fase: Caracterização dos resíduos de gesso.....	68
4.2.2.1 Granulometria por peneiramento.....	68
4.2.2.2 Granulometria à laser .....	69
4.2.2.3 Teor de Umidade.....	70
<b>4.3 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA.....</b>	<b>70</b>
<b>4.4 MUDANÇA DE CLASSE DO RESÍDUO DE GESSO .....</b>	<b>73</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE A – GRANULOMETRIA À LASER.....</b>	<b>84</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria da construção civil o gerenciamento de resíduos tem se tornado cada vez mais relevante na execução de uma obra, tendo como foco a redução de desperdícios e conseqüentemente a geração de resíduos. Visto que a quantidade de resíduos gerados pode provocar e causar impactos ambientais, uma vez que grande parte destes resíduos são depositados de forma irregular. (LIMA FILHO, 2010).

A quantidade de resíduos produzidos pela construção civil é um fenômeno crescente. De acordo com Tristão (2015), com o grande aumento populacional nas zonas urbanas, a construção civil encontra-se em contínuo crescimento, o que proporciona um grande aumento na produção de resíduos. Esteves et al. (2013) ressaltam que nas construções de engenharia é visível a produção de resíduos, o que indica uma grande perda de materiais.

A preservação ambiental é uma preocupação mundial. Pois, através dos séculos, vêm-se conquistando uma contínua e crescente pressão sobre os recursos naturais. Na construção civil não é diferente, em relação ao reconhecimento dos impactos socioeconômicos para o país, em que a elevada geração de empregos, viabilização de moradias, infraestruturas e outros ainda carecem do cumprimento da política para a destinação correta dos resíduos sólidos. (LIMA FILHO, 2010).

A Resolução nº 469 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2015), salienta que o setor da construção civil deve começar a participar das discussões a respeito do controle e da responsabilidade pela destinação de seus resíduos sólidos. Nesta resolução, estão estabelecidos os deveres e as responsabilidades, inclusive a necessidade de o município licenciar as áreas para a disposição final e implementar o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Dentre os diversos tipos de resíduos sólidos, esta pesquisa está diretamente relacionada ao resíduo de gesso. Considerando os resíduos gerados pela construção civil, Esteves et al. (2013) estimam em 500 kg/hab./ano em algumas cidades brasileiras, colocam que o gesso contribui muito com esta estimativa, além de ser um gerador de problemas ambientais. Bernhoeft et al. (2011), verificam que a disposição inadequada do gesso acarreta problemas ambientais, como a formação de gás sulfídrico ( $H_2S$ ), que é tóxico e inflamável, e há alteração da composição química dos solos e das águas.

De acordo com a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), o plano de gerenciamento de resíduos da construção civil tem como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequado dos resíduos. Como todo processo de gestão envolve alternativas, a avaliação do ciclo de vida (ACV) passou a ser compreendida como potencial ferramenta de subsídio ao gerenciamento de resíduos sólidos.

A ferramenta de ACV tem sido utilizada para avaliar os impactos ambientais de várias cadeias produtivas, sendo eficaz na caracterização de riscos ambientais, e fonte de informações nas estratégias de gerenciamento e tomada de decisões nas diferentes etapas do ciclo de vida de um produto. Alguns exemplos de aplicação da ACV podem ser observados na indústria de siderurgia, construção civil, processos de reciclagem do aço e gestão de resíduos sólidos urbanos. (RIGON et al., 2019).

De acordo com Fonseca (2011) para executar uma ACV é necessário recorrer a base de dados, sendo que estas bases de dados podem ser encontradas no ECOINVENT, SPINE, GEMIS, TEAM e ExternE. Existem vários modelos de *softwares* para serem utilizados, mas os mais utilizados são o SimaPro7, GaBI 4.0, KCL-ECO 3, LCAit e o Umberto 5.0.

No Brasil o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) considera fundamental a implantação de um modelo de inventário brasileiro. Em que o objetivo é disponibilizar um sistema de banco de dados relevantes a realização de inventários, em conjunto com algumas instituições. (IBICT, 2009).

Contudo, este estudo tem como objetivo geral construir um inventário de ciclo de vida do resíduo de construção - gesso, utilizando dados primários e realizar a sua caracterização, podendo contribuir com o instrumento de gerenciamento dos resíduos para a mitigação de impactos ambientais da sua disposição final. Este estudo também considera a estimativa dos impactos ambientais potenciais do setor e avalia a mudança de classe do resíduo de gesso, de C para B em consonância com a Resolução nº 469 (CONAMA, 2015). Pretende-se que os resultados obtidos neste estudo contribuam para o enriquecimento das bases de dados de inventário em relação aos processos que envolvem a disposição final de resíduos de gesso na perspectiva de ciclo de vida.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A importância de inventariar os resíduos de gesso na perspectiva da ACV pode ser justificada pelo fato de que este inventário pode subsidiar estudos de cenários envolvendo subsistemas relacionados a reciclagem, reuso, disposição final em aterros de resíduos de gesso.

## 1.2 DELIMITAÇÕES

Este trabalho utiliza como estratégia de pesquisa experimentação em canteiro de obra residencial, localizada no município de Mineiros no Estado de Goiás. Se refere a uma análise do resíduo de gesso gerados na construção civil.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é a elaboração de um inventário do resíduo de gesso gerado em canteiro de obra, através de dados primários e caracterizações com ênfase na mudança de classe do resíduo.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da pesquisa, necessários para alcançar o objetivo geral serão apresentados a seguir:

- a) Diagnosticar os resíduos de gesso gerados no canteiro de obra do município de Mineiros-GO;
- b) Identificar os aspectos e impactos ambientais associados aos resíduos de gesso na construção;
- c) Construir um inventário do resíduo de gesso;
- d) Fundamentar a mudança de classe do gesso de C para classe B.

#### 1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este trabalho está dividido em 4 capítulos. No primeiro, apresenta-se a introdução que é dividida em justificativa, objetivos e estrutura da pesquisa.

No segundo capítulo, trata-se da revisão bibliográfica, em que aborda o gesso utilizado na construção civil, os resíduos de gesso, as legislações referentes ao gerenciamento dos resíduos de gesso gerados pela construção civil, avaliação do ciclo de vida e o inventário do ciclo de vida com suas metodologias utilizadas no levantamento de dados.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia do trabalho a qual são detalhados a forma de aplicação da pesquisa para atingir os objetivos propostos.

Os resultados obtidos no trabalho são apresentados, discutidos e analisados no quarto capítulo, o estudo foi desenvolvido a partir de uma etapa em campo (*in loco*), na qual foram levantados os dados primários para a construção do inventário do resíduo de gesso. Numa segunda etapa, este mesmo resíduo foi caracterizado em escala laboratorial, cujos resultados subsidiaram juntamente com dados da literatura, a discussão dos potenciais impactos ambientais causados pela sua disposição inadequada e a mudança de classe de C para B, em consonância com a Resolução nº 469. (CONAMA, 2015).

Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GESSO UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O gesso utilizado na construção civil possui suas características específicas, assim como quando utilizado em outras áreas, o que difere das demais áreas é o processo de beneficiamento da gipsita (sulfato de cálcio di-hidratado).

O aumento crescente da utilização do gesso na indústria da construção civil deve-se a três características deste material sendo conforto térmico, capacidade de combate à propagação do fogo e isolamento acústico. (CARTAXO, 2011).

Dentre as prescrições normativas brasileiras, é possível encontrar Normas Brasileiras de Regulação - NBR que estabelecem critérios e viabilizam sua aplicação como material, a serem seguidos para a utilização do gesso na construção civil, podendo obter as propriedades do gesso. As normativas propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) são:

- a) NBR 12127:2017 - Gesso para construção civil: Determinação das propriedades físicas do pó.
- b) NBR 12128:2017 - Gesso para construção civil: Determinação das propriedades físicas da pasta.
- c) NBR 12129:2017 - Gesso para construção civil: Determinação das propriedades mecânicas.
- d) NBR 12130:2017 - Gesso para construção civil: Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico.
- e) NBR 13207:2017 - Gesso para construção civil – Requisitos.

Existem outras NBR's que abrangem somente as características físicas das peças confeccionadas em placas e instruções sobre o método de aplicação.

A NBR 13207 (ABNT, 2017) define o gesso para construção civil como um material proveniente da gipsita ou resíduos de gesso, constituído predominantemente de sulfato de cálcio di-hidratado, calcinado e reduzido a pó, podendo conter adições e/ou aditivos.

De acordo com Francisco Junior (2009), uma das propriedades da pasta de gesso é a resistência mecânica à compressão e à tração, que após o endurecimento apresentam uma forte correlação com a quantidade de água utilizada na hidratação,

sendo semelhante ao cimento que, diminui a sua resistência à medida que aumenta a quantidade de água.

Francisco Junior (2009) comenta ainda que as outras duas propriedades mecânicas mais solicitadas, principalmente para pastas de gesso destinadas a revestimentos são a dureza e a aderência. O gesso apresenta boa aderência aos substratos de alvenaria, pedra, vidro e ferro, embora este não seja recomendado, devido a corrosão do aço com sulfato de cálcio hidratado. É importante lembrar que o gesso não apresenta boa aderência a madeira e a agregados lisos.

A NBR 13207 (ABNT, 2017) fixa os requisitos físico-químicos e mecânicos, como tempo de pega, granulometria, quantidades de água livre e de cristalização, óxido de cálcio e anidrido sulfúrico, aderência, dureza e massa unitária. As Tabelas 1, 2, 3, 4 apresentam as exigências físico-químicas e mecânicas necessárias à classificação do gesso de construção civil, em pó, pasta e endurecido.

Tabela 1 - Requisitos físicos e mecânicos do gesso para construção civil

<b>Ensaio</b>	<b>Unidade</b>	<b>Limite</b>
Massa Unitária	g/cm <sup>3</sup>	≥ 600,00
Dureza	N/mm <sup>2</sup>	≥ 20,0
Aderência	MPa	≥ 0,2

Fonte: NBR 13207 (ABNT, 2017).

Tabela 2 - Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega)

<b>Ensaio</b>	<b>Tempo de pega (min)</b>	
	Início	Fim
Gesso para fundição	≤ 10	≤ 20
Gesso para revestimento (sem aditivo)	≥ 10	≥ 35
Gesso para revestimento (com aditivo)	≥ 4	≥ 50

Fonte: NBR 13207 (ABNT, 2017).

Tabela 3 - Requisitos físicos do gesso para construção civil (granulometria via seca)

<b>Classificação do gesso</b>	<b>Granulometria mínima</b>
Gesso para fundição	(peneira abertura 0,29 mm) ≥ 90% passante
Gesso para revestimento	(peneira abertura 0,21 mm) ≥ 90% passante

Fonte: NBR 13207 (ABNT, 2017).

Tabela 4 - Requisitos químicas do gesso sem aditivos para construção civil

<b>Determinações químicas</b>	<b>Limites (%)</b>
Água livre	máx. 1,3
Água de cristalização	4,2 a 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	mín. 38,0
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	mím. 53,0

Fonte: NBR 13207 (ABNT, 2017).

Antunes (1999) cita o gesso como o mais antigo aglomerante em que seus processos de calcinação já eram amplamente conhecidos, pois possuía uma facilidade de obtenção e consiste no aquecimento do mineral gipsita. A Tabela 5 apresenta um resumo de valores típicos das propriedades mecânicas dos gessos nacionais e suas respectivas relações água/gesso.

Tabela 5 - Variações das propriedades dos gessos brasileiros de construção

<b>Propriedades</b>	<b>Relação água/gesso</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
Resistência à compressão	0,650 – 0,450	9,93 – 27,29
Resistência à tração na flexão	0,653 – 0,433	4,40 – 10,50
Dureza superficial	0,483 – 0,450	13,55 – 53,08
Aderência	0,600 – 0,800	0,40 – 1,60

Fonte: Antunes (1999).

### 2.1.1 O uso do gesso na construção civil e suas aplicações

Entre os materiais que têm sua utilização em largo crescimento na construção civil, destaca-se o gesso. Este pode ser considerado o aglomerante mais antigo que se conhece. (BERNHOFET; GUSMÃO; TAVARES, 2005). John e Cincotto (2003 apud CORREIA; CORDON, 2014) colocam que na atualidade, o uso desse mineral vem aumentando significativamente, principalmente na construção civil, sendo um dos responsáveis pela geração de resíduos deste setor.

De acordo com Pinheiro (2011) usualmente o gesso é empregado na construção civil, para produzir argamassas de revestimento na forma de reboco e emboço ou na forma de pasta. No Brasil, a utilização do gesso para revestimento na forma de pasta é normatizada pela NBR 13867 (ABNT,1997). No entanto é a produção de elementos, como placas, blocos e divisórias de gesso acartonado que demanda uma grande parte deste material.

“As placas de gesso são utilizadas para a execução de forros e rebaixamento de teto na construção civil. São constituídas por uma mistura de gesso e água com possíveis incorporações de aditivos, fibras e pigmentos”. (DOMÍNGUEZ; SANTOS 2001 apud PINHEIRO 2011).

Os blocos de gesso são elementos de vedação vertical, utilizados para a execução de paredes e divisórias internas nas edificações. São constituídos por uma mistura de água e gesso, com ou sem adições de forma a conferir as propriedades necessárias a seu uso. (SANTOS, 2001).

As chapas de gesso acartonado são elementos utilizados como divisórias, nas edificações. São produzidas por um processo de laminação contínua, onde uma mistura de gesso, água e aditivos é envolvida por duas lâminas de papel cartão. (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2001).

O revestimento de gesso pode promover superfícies planas e regulares, possibilitando menores espessuras, pela não necessidade de utilização de agregado. Além disso, o gesso proporciona menor custo e maior produtividade no serviço. (ANTUNES, 1999 apud CORREIA; CORDON, 2014).

Correia e Cordon (2014) colocam que o gesso para revestimento tem sido entendido pela construção civil como mais uma alternativa para o sistema tradicional de revestimento, por sua qualidade e baixo custo, de modo que o revestimento em pasta de gesso pode vir a ser uma alternativa a camada de chapisco, a argamassa e, na etapa de preparação para pintura substituindo a massa corrida.

### **2.1.2 Origem e características dos resíduos de gesso**

A Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), define os resíduos da construção e demolição como as sobras e rejeitos de materiais provenientes de obras de construções novas ou de reformas e de demolições.

Segundo Barbosa, Ferraz e Santos (2014) a produção de gesso natural ocorre sobre tudo em quatro etapas: extração do gipso; preparação para calcinação; calcinação e seleção. O gipso se caracteriza por ser uma rocha sedimentar que apresenta principalmente em sua composição a gipsita, a anidrita e algumas impurezas, usualmente argilominerais, calcita, dolomita e material orgânico. A gipsita se apresenta como um mineral compacto de baixa dureza, pouco solúvel em água, que é a matéria-prima para o gesso; sua fórmula química é  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

O processo de produção do gesso, a partir da utilização da gipsita natural, consta das seguintes etapas: extração e preparação da matéria-prima; calcinação; pulverização; ensilagem e acondicionamento.



A extração e a preparação do minério de gipsita para calcinação envolvem atividades executadas nas minas e/ou nas usinas de calcinação, que tem como objetivo a redução do diâmetro do minério, sua estocagem, a homogeneização e a secagem do material.

Ainda segundo Barbosa, Ferraz e Santos (2014) após a extração, a gipsita atravessa alguns processos de beneficiamento para adaptação ao modelo de forno no qual será calcinada. Essencialmente, as fases são as seguintes: britagem, moagem grossa; estocagem; secagem; moagem fina e acondicionamento. A calcinação seria o processo térmico pelo qual a gipsita é desidratada. O material é calcinado numa faixa de temperatura de 140°C a 160°C para que 75% da água de cristalização seja eliminada da estrutura obtendo assim o hemidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ), como exposto na equação:



De acordo com Pinheiro (2011) as mais importantes atividades realizadas com gesso, nas obras de construção civil, agentes da geração de resíduos, são os revestimentos de alvenaria e teto com a pasta de gesso, a aplicação de divisórias com gesso acartonado, a aplicação de alvenarias com blocos de gesso, a execução de placas para forro e elementos decorativos.

Segundo Pinheiro (2011) os serviços desenvolvidos em todas as fases do ciclo produtivo do gesso produzem resíduos, causando impactos ambientais, surgindo a necessidade de gerenciamento em cada fase de seu processo produtivo.

Conforme informações do SINDUSGESSO e ABRAGESSO (apud AGOPYAN et al., 2005) as mais relevantes origens de resíduos de gesso na construção civil são os serviços com revestimento (88%), as chapas de gesso acartonado (8%) e os elementos pré-moldados (4%), avalia-se assim uma massa de 120 mil toneladas por ano na grande São Paulo que, se corretamente administrada, diminuiria o consumo de gipsita em 32.700 toneladas por ano.

Os resíduos de gesso gerados durante as atividades de construção e demolição de obras civis são decorrentes, principalmente, do desperdício de materiais resultantes dos processos construtivos adotados e do planejamento de atividades no canteiro de obra (SCHENINI; BAGNATI; CARDOSO, 2004).

Conforme Pinheiro (2011) a quantidade de resíduos de gesso produzido em todo país é desconhecida. Todavia, é possível que represente um volume considerável e que viabilize uma reciclagem em nível industrial. Em várias regiões do País, onde os serviços de construção e demolição produzem significativo volume de resíduos de gesso, que corretamente gerenciado, poderá voltar a ser utilizado na cadeia produtiva.

### **2.1.3 Resíduos de gesso produzidos pela construção civil**

De acordo com Rivero et al. (2016) a reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) é de suma importância uma vez que reduz o impacto causado ao meio ambiente, redução de extração de matérias-primas, bem como a redução das áreas de descarte.

Segundo Tristão (2015) atualmente com o grande aumento populacional nas zonas urbanas, a construção civil encontra-se em contínuo crescimento, o que proporciona um grande aumento na produção de resíduos. O que resulta em um significativo desperdício de material, onde os custos são compartilhados por toda a população, não apenas pelo aumento do custo final da obra, mas também, pelo aumento dos custos de remoção e tratamento do entulho.

Esteves et al. (2013) ressaltam que nas construções de engenharia é visível a produção de uma significativa quantidade de resíduos, o que indica uma grande perda de materiais. A geração brasileira de RCD está estimada em 500 kg/hab./ano em algumas cidades.

Schenini, Bagnati e Cardoso (2004) colocam que os resíduos de gesso produzidos no decorrer das etapas de construção e demolição de obras civis sucedem, preferencialmente, da perda de materiais oriundos das etapas construtivas aderidas e da programação de atividades no canteiro de obra. A quantidade desses resíduos varia em função da cultura local, do uso e dos sistemas construtivos adotados.

Correia e Cordon (2014) citam que o gesso apresenta endurecimento rápido ocasionando a redução do tempo de pega, quando comparado com a argamassa feita à base de cimento. No entanto, a enorme falta de mão de obra qualificada gera grandes quantidades de resíduos de gesso.

Em todas as etapas de produção e aplicação do gesso de construção são gerados resíduos, desde a extração da matéria-prima até sua aplicação como material de construção, passando pelas etapas de produção do gesso e beneficiamento de componentes (PINHEIRO, 2011).

Ainda de acordo com Pinheiro (2011) os principais trabalhos realizados com gesso, na área da construção civil, responsáveis pela produção de resíduos, são os revestimentos de alvenaria e teto com a pasta de gesso, a execução de divisórias com gesso acartonado, a execução de alvenarias com blocos de gesso, a aplicação de placas para forro e elementos decorativos.

John e Cincotto (2003), colocam que os resíduos de gesso acartonado podem apresentar contaminantes como metais, madeira e tinta. Além disso, colocam que os resíduos de outros elementos de gesso como placas de forro e blocos, podem conter os mesmos contaminantes citados anteriormente mais a fibra vegetal. O gesso quando aplicado como revestimento não pode ser separado do canteiro de obras por conter alvenaria aderida ao mesmo. Assim, a falta de métodos apropriados de gestão dos resíduos no canteiro de obras pode gerar outros contaminantes.

As principais atividades com gesso na construção civil, que são responsáveis pela geração de resíduos estão descritas no Quadro 1. Em que alguns autores demonstram a porcentagem de perdas geradas durante a aplicação do gesso. Durante as atividades de construção, a aplicação do material e dos componentes geram os seguintes impactos: contaminação do solo, contaminação de lençol freático e degradação ambiental. (PINHEIRO, 2011).

Quadro 1 - Geração de resíduos durante as atividades de construção

Atividade	Natureza do resíduo	Volume de resíduo	Autores
Revestimento de alvenaria e teto	A geração de resíduos é a partir da perda de material que ocorre durante o preparo, a aplicação e o endurecimento da pasta antes de sua efetiva aplicação.	30% e 40%	Pimentel e Camarini (2009)
Divisórias com chapas de gesso acartonado	Os resíduos são formados por pedaços de chapas danificadas ou sobras provenientes dos cortes.	ABRAGESSO estima 5%, pesquisa de campo estima 12%	Marcondes (2007)
Alvenaria com blocos de gesso	A perda de material é reduzida, devido à natureza modular das peças.	Não existem dados disponíveis quanto ao volume de resíduo gerado neste processo.	Raad e Martins (2005)
Forros com placas de gesso	Os resíduos são gerados provenientes de quebra e manuseio no transporte, e da pasta e da cola de gesso utilizados no acabamento.	Não existem dados disponíveis quanto ao volume de resíduo gerado neste processo.	Ribeiro (2006)
Elementos decorativos de gesso	Os resíduos são gerados provenientes de quebra e manuseio.	Não existem dados disponíveis quanto ao volume de resíduo gerado neste processo.	Ribeiro (2006)

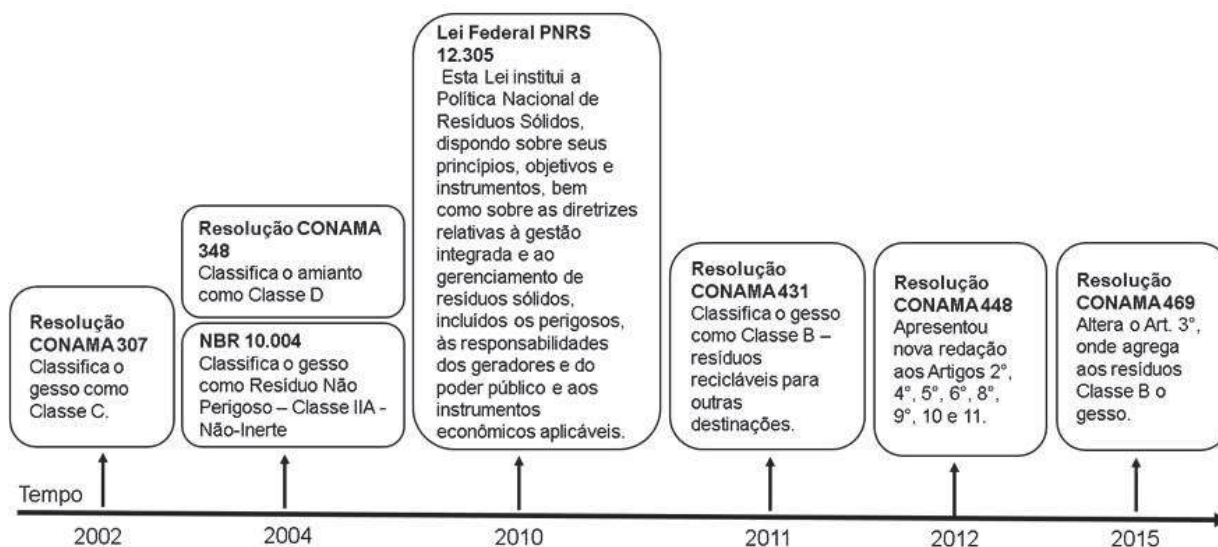
Fonte: Adaptada Pinheiro (2011).

Melo (2012) apresenta que na região metropolitana do Recife, o gesso contribui com cerca de 4% do volume de resíduos de construção civil, aproximando-se dos 50 m<sup>3</sup> diários.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DO GESSO DE ACORDO COM O CONAMA

Após revisões na Resolução 307 (CONAMA, 2002), alguns resíduos oriundos da construção civil foram alterados de classe como as embalagens vazias de tintas imobiliárias, o amianto e o gesso, sendo este último o objeto deste estudo. Os marcos da legislação brasileira referente aos RCDs estão descritos na Figura 1, a fim de observar a evolução nas resoluções, diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil a fim de minimizar os impactos ambientais.

Figura 1 - Evolução nas Resoluções do CONAMA



Fonte: Adaptado de Kochem (2016).

A Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), no terceiro artigo classifica os resíduos da construção civil em quatro classes, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação de acordo com a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002)

Classes	Classificação
A	São resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: <ol style="list-style-type: none"> <li>De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem.</li> <li>De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc), argamassa e concreto.</li> <li>De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc) produzidas nos canteiros de obras.</li> </ol>
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como produtos oriundos do gesso.
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte: CONAMA (2002).

A classificação do resíduo de gesso na Resolução nº 307 (CONAMA, 2002) era inicialmente como Classe C, aqueles para os quais não teriam sido desenvolvidas tecnologias passíveis de reciclagem/ recuperação.

Já no ano de 2011 a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002) foi alterada pela Resolução nº 431 (CONAMA, 2011), na qual o resíduo de gesso aparece com uma nova classificação passando de Classe C para Classe B, sendo passível de reciclagem.

Na última atualização da Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), sendo esta alterada pela Resolução nº 469 (CONAMA, 2015), considera a classificação dos resíduos conforme detalhado na Tabela 7. No Art.10 da referida resolução determina que após a triagem os resíduos da construção civil deverão ser destinados conforme Tabela 8. Onde geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (CONAMA, 2015).

Tabela 7 – Classificação de acordo com a Resolução nº 469

<b>Classes</b>	<b>Classificação</b>
A	São resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: <ol style="list-style-type: none"> <li>De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem.</li> <li>De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc), argamassa e concreto.</li> <li>De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc) produzidas nos canteiros de obras.</li> </ol>
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bens como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: CONAMA (2015).

Os resíduos da construção civil deverão ser destinados de acordo com a resolução, onde os resíduos não poderão ser dispostos em aterros de resíduos

sólidos urbanos, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei. (CONAMA, 2015).

Tabela 8 - Formas de destinação dos resíduos da construção civil

<b>Classes</b>	<b>Destinação dos resíduos de construção civil</b>
A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de preservação de material para usos futuros.
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com normas técnicas específicas.
D	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com normas técnicas específicas.

Fonte: CONAMA (2015).

“Até o ano de 2011, os resíduos de gesso oriundos da construção e demolição eram classificados como não recicláveis, uma vez que se incluíam na classe “C” de acordo com a Resolução 307” (CONAMA, 2002). Acreditava-se não ter tecnologias ou utilizações economicamente viáveis que possibilitassem sua reciclagem ou recuperação. Com a publicação da Resolução 431 (CONAMA, 2011) o resíduo de gesso tornou-se reciclável, pois sua classificação foi alterada para a categoria “B”.

Em sua última revisão no ano de 2015, o CONAMA regulamenta os resíduos recicláveis na classe B do Art. 3º, conforme segue abaixo:

Art. 3º Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

II - Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso. (CONAMA, 2015).

### 2.3 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A MUDANÇA DE CLASSE

Com o objetivo de buscar soluções ambientais para os resíduos de gesso, envolve-se os aspectos da correta destinação, reuso e reciclagem. Em que pode ser viabilizado se todos os agentes envolvidos na geração de resíduos assumirem suas parcelas de responsabilidade para a correta destinação.

Como a Resolução nº 469 (CONAMA, 2015) nos apresenta a gestão dos resíduos, a reciclagem dos resíduos de gesso pode ser dividida em etapas:

- a) Coleta dos resíduos;
- b) Separação dos contaminantes;
- c) Processamento;
- d) Controle da qualidade;
- e) Comercialização.

Através da classificação do resíduo de gesso para classe B, fica claro que o gerador é responsável pela destinação adequada, bem como nas fases de coleta, segregação, transporte e destinação final. Possibilitando assim que o material limpo possa ser utilizado novamente na cadeia produtiva. (ABRAGESSO, 2011).

### **2.3.1 Critérios para o resíduo ser classe B**

De acordo com a Resolução nº431 (CONAMA, 2011), o resíduo de gesso passa a ser classificado como pertencente a classe B, sendo este resíduo reciclável para outras destinações. Este resíduo separado dos demais resíduos da construção civil, readquire as características químicas do mineral, a gipsita, permitindo então que possa ser reciclado (RIBEIRO, 2011).

CONAMA (2015) afirma que os resíduos de gesso não podem ser descartados junto com resíduos domiciliares, sendo importante existir nos municípios as áreas de transbordo e triagem, licenciadas pelos órgãos ambientais para receberem resíduos de gesso e outros materiais.

### **2.3.2 Formas de reciclagem**

A partir do ano de 2002 visando proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental, surge a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002) com foco na política pública dos resíduos gerados pela construção civil. A partir desta resolução e suas atualizações foram impulsionados estudos sobre reciclagem. Contudo no Quadro 2 pode ser observado métodos de reciclagem do resíduo de gesso.



Quadro 2 - Reciclagem do resíduo de gesso

<b>Autor</b>	<b>Método de reciclagem</b>
Ribeiro, 2016	Produção de hemi-hidrato de sulfato de cálcio, através da calcinação.
Bardella, 2011	Calcinação com variação de temperatura de 150°C a 200°C.
Pinheiro, 2011	Ciclos de reciclagem consecutivos, o gesso pode hidratar-se ou desidratar-se, continuamente. Tornando o gesso um material que pode ser reciclado.

Fonte: Fernandes (2016).

Resultados de ensaios indicam que os gessos reciclados na forma de pó apresentam características químicas e micro estruturais semelhantes em todos os ciclos de reciclagem. O uso do gesso reciclado mostra em alguns casos que as propriedades mecânicas de resistência à compressão e tração podem apresentar valores maiores que o gesso comercial de referência. (PINHEIRO, 2011).

A política pública dos resíduos gerados pela construção civil impulsionou alguns municípios a implantarem planos de gerenciamento. Brasileiro e Matos (2015) realizaram um estudo onde dos 5.565 municípios existentes no país, apenas 50 implantaram planos de gerenciamento, em que as usinas de reciclagem atuando em suas capacidades máximas conseguem reciclar cerca de 4,5% dos RCD gerados.

#### 2.4 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil analisa questões ambientais desde meados dos anos 70 e obteve mais atenção da indústria após o lançamento da NBR ISO 14001 (ABNT, 2004a) sobre o Sistema de Gestão Ambiental (SGA). As inquietações giravam em torno de impactos ambientais atribuídos na construção civil tais como: contaminação do solo, contaminação da água, resíduos de construção e demolição, ruído e vibração, poeiras, odores e emissões perigosas, demolição em locais de existência de vida selvagem e recursos naturais e distribuição arqueológica (CHEN; LI; WONG, 2006).

Segundo Wiens e Hamada (2006), dentre as questões mais debatidas no que se refere a gestão ambiental, a destinação de resíduos sólidos urbanos apresenta uma grande relevância. Devido a sua heterogeneidade, cada tipo de resíduo tem normas específicas de destinação, o que pode onerar e dificultar sua efetivação. No entanto, os resíduos da construção civil hoje têm sua destinação regulamentada.

Observa-se que a Constituição Federal desde o ano 1988, aborda assuntos do meio ambiente equilibrado:

Art. 225: Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo para as presentes e futuras gerações. [...] incumbe ao poder público: [...] (V) Controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente. (BRASIL, 1988).

No ano de 2010 o Governo Federal sancionou a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que veio a se unir a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002). A Lei se refere a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), a qual define a forma como o país deve dispor seus resíduos, reunindo um conjunto de princípios, sendo: objetivos, instrumentos, diretrizes e metas, com vistas ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. (BRASIL, 2010).

Com base nas diretrizes da PNRS, está inserido o Plano de Resíduos Sólidos, a realização de inventários de resíduos de construção civil, a avaliação de impactos ambientais entre outros. A partir da PNRS se torna obrigatoriedade das empresas o manejo ambientalmente correto dos resíduos sólidos e estabelece metas de reutilização, redução, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos e o incentivo a indústria da reciclagem fomentando o uso de matérias-primas e insumos de materiais recicláveis e reciclados. Esta lei, visa reduzir o volume de resíduos para destinação final, demanda a participação de todos os setores da sociedade, e engloba a mudança de postura de empresários do setor da construção. (MONTI, 2014).

As preocupações ambientais no mundo estão relacionadas ao aumento das taxas de geração de resíduos sólidos pela influência das atividades humanas e mudanças nos estilos de vida e padrões de consumo. A gestão de resíduos também é efetivada para recuperar recursos a partir dele, e pode envolver sólidos, líquidos, gases ou substâncias radioativas, com diferentes métodos e áreas de especialização para cada um deles. (DEMIRBAS, 2011).

Huang et al. (2013), mostra o aumento da expectativa de vida útil das construções, paralelamente a uma reciclagem dos materiais, são métodos eficazes para evitar o consumo de mais matéria-prima, geração de resíduos e para auxiliar na mitigação de emissões de CO<sub>2</sub>. Estudos mostram que a separação de materiais na operação de demolição resulta na diminuição dos impactos ambientais. A

segregação nas atividades de demolição e reciclagem mostram uma redução de cerca de 77% na categoria de impacto das mudanças climáticas, redução de 57% no potencial de acidificação e de 81% na poluição de verão. (COELHO; BRITO, 2012).

A geração de resíduos são fatores que contribuem com impactos ambientais, no Quadro 3 pode se observar fontes geradoras e o impacto ocasionado.

Quadro 3 - Geração de resíduos na construção

Produção de RCD no Brasil extrapola a quantidade de: 100.000 t/dia		
Fonte geradora	Impacto	
Concreto armado (indústria do cimento e aço)	Emissão de CO <sub>2</sub>	Mesmo os resíduos da construção civil definidos como inerte, existem alguns que oferecem risco de contaminação ambiental. Devido as possibilidades de contaminação de outros resíduos
Madeira	Redução da biodiversidade, contaminação do solo, utilização de recursos naturais	
Concreto, argamassa e cerâmicas	-	
Áreas especiais protegidas por lei (áreas de proteção permanente) – extração da mineração	Extração de argilas	

Fonte: Rigon (2013).

Observa-se que os resíduos que são dispostos sem a preocupação de segregação, apresentam maiores dificuldades ou impossibilidades para serem reciclados.

## 2.5 LEGISLAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Em se tratando de legislação sobre resíduos de construção civil, uma ação a ser citada é a Lei Federal nº 10.257 (BRASIL, 2001), que originou a Resolução nº 307 (CONAMA, 2002). Esta resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, responsabilizando a cadeia geradora e o poder público. Com a finalidade de redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos da construção civil, apresentando como objetivo principal a não geração de resíduos e, posteriormente, a reutilização, reciclagem e destinação final. (LEVY, 2007).

A disposição dos resíduos de construção civil em locais inapropriados influencia a degradação da qualidade ambiental. A partir da Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), foi deliberado que todo município deve criar um Programa

Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, contendo o cadastramento de áreas públicas ou privadas aptas a receberem o resíduo conforme sua classificação, a fim de que os impactos ambientais produzidos pelos resíduos sejam minimizados. (PUCCI, 2006).

O Art. 9º da Resolução nº 448 (CONAMA, 2012) contempla as seguintes etapas na elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil: I – Caracterização; II – Triagem; III – Acondicionamento; IV – Transporte; V – Destinação. Portanto trata-se de um conjunto de ações nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação e disposição final.

No processo de gerenciamento dos resíduos sólidos uma etapa importante é a correta classificação de acordo com a legislação. No Brasil, a gestão dos resíduos sólidos deve estar de acordo com a norma NBR 10004 (ABNT, 2004b) que classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, definindo os mesmos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades 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 de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004b).

Outra forma de classificação segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004b), pode ser a dos resíduos em classes de acordo com suas características. Podendo esta classificação ser observada no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação dos resíduos segundo a NBR 10004

<b>Classe</b>	<b>Descrição</b>	<b>Características</b>
Classe I	Resíduos perigosos	Toxicidade, corrosividade, inflamabilidade, reatividade, patogenicidade.
Classe II A	Não Perigoso - Não inertes	Biodegradáveis, solúveis em água e combustíveis.
Classe II B	Não Perigoso - Inertes	Tem seus constituintes solúveis em água.

Fonte: ABNT (2004a).

A classificação recomendada pela NBR 10004 é baseada nas propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas dos resíduos. Enquanto que a classificação

apresentada na Resolução nº 469 (CONAMA, 2015) subdivide os resíduos de acordo com as características físico-químicas e determina possíveis destinos.

Dentre os principais conceitos da PNRS estão a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, analisando desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até sua disposição final.

## 2.6 SÉRIE ISO 14000

A série ISO 14000 é um conjunto de normas internacionais que estabelece diretrizes para Auditorias Ambientais, Avaliação do Desempenho Ambiental, Rotulagem Ambiental e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos produtos. Visando contribuir para a melhoria contínua da qualidade do ambiente, diminuindo as fontes de poluição e integrando o setor produtivo na otimização do uso dos recursos naturais.

Esta pesquisa foi direcionada a partir de requisitos metodológicos para a condução de estudos de ACV, sendo norteada pelas NBRs:

- a) ISO 14040:2009 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.
- b) ISO 14044:2009 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

Segundo a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) a ACV é definida como a “compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”. Portanto, a ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo de todo ciclo de vida de um produto, a partir da aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final.

Visando complementar as informações sobre os requisitos de uma ACV surge os relatórios técnicos com base em diversos exemplos para aumentar a compreensão da NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b). Sendo esta:

- a) NBR ISO/TR 14049:2014 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – exemplos ilustrativos de como aplicar a NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário.

- b) NBR ISO/TR 14047:2016 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – processos de análise crítica e competências do analista. Requisitos adicionais e diretrizes para a NBR ISO 14044 a situações de avaliação de impacto.
- c) NBR ISO/TS 14071:2018 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – processos de análise crítica e competências do analista. Requisitos adicionais e diretrizes para a NBR ISO 14044:2009.

## 2.7 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO ÂMBITO DA POLÍTICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) analisa os aspectos ambientais e os impactos potenciais de um produto, a partir da obtenção de sua matéria-prima, etapas de produção, uso, descarte e disposição final. Regulada pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) a ACV é um instrumento previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

De acordo com a Resolução n° 307 (CONAMA, 2002), o plano de gerenciamento de resíduos da construção civil tem como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequada dos resíduos. Como todo processo de gestão envolve alternativas, a avaliação do ciclo de vida - ACV passou a ser compreendida como ferramenta com potencial de subsidiar o gerenciamento de resíduos sólidos. Para Chehebe (1998 apud PASQUALI, 2005), a avaliação do ciclo de vida é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto.

A Lei n° 12.305 (BRASIL, 2010) nos capítulos II, III e V determina os:

Princípios e Objetivos:

Art. 6. Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

- VII - A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Art. 7. Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

- XII – Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto.

Instrumentos:

Art. 8. São Instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

- III – A coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Instrumentos Econômicos:

Art. 42. O poder público poderá instituir medidas indutoras e linhas de financiamento para atender, prioritariamente, as iniciativas de:

- II – Desenvolvimento de produtos com menores impactos à saúde humana e à qualidade ambiental em seu ciclo de vida.

Art. 44. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, no âmbito de suas competências, poderão instituir normas com o objetivo de conceder incentivos fiscais, financeiros ou creditícios, respeitadas as limitações da Lei Complementar nº 101 (BRASIL, 2000) (Lei de Responsabilidade Fiscal).

- II – Projetos relacionados à responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, prioritariamente em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda.

O uso do procedimento da ACV, aplicada à gestão de resíduos, aceita quantificar e caracterizar os impactos ambientais causados, desde a ocasião em que os materiais são considerados resíduos, até serem enviados para a reintegração no ciclo de matérias-primas ou descarregados no ambiente (atmosfera, meio hídrico e solo), através de métodos de eliminação, tais como o aterro ou a incineração (FONSECA, 2011).

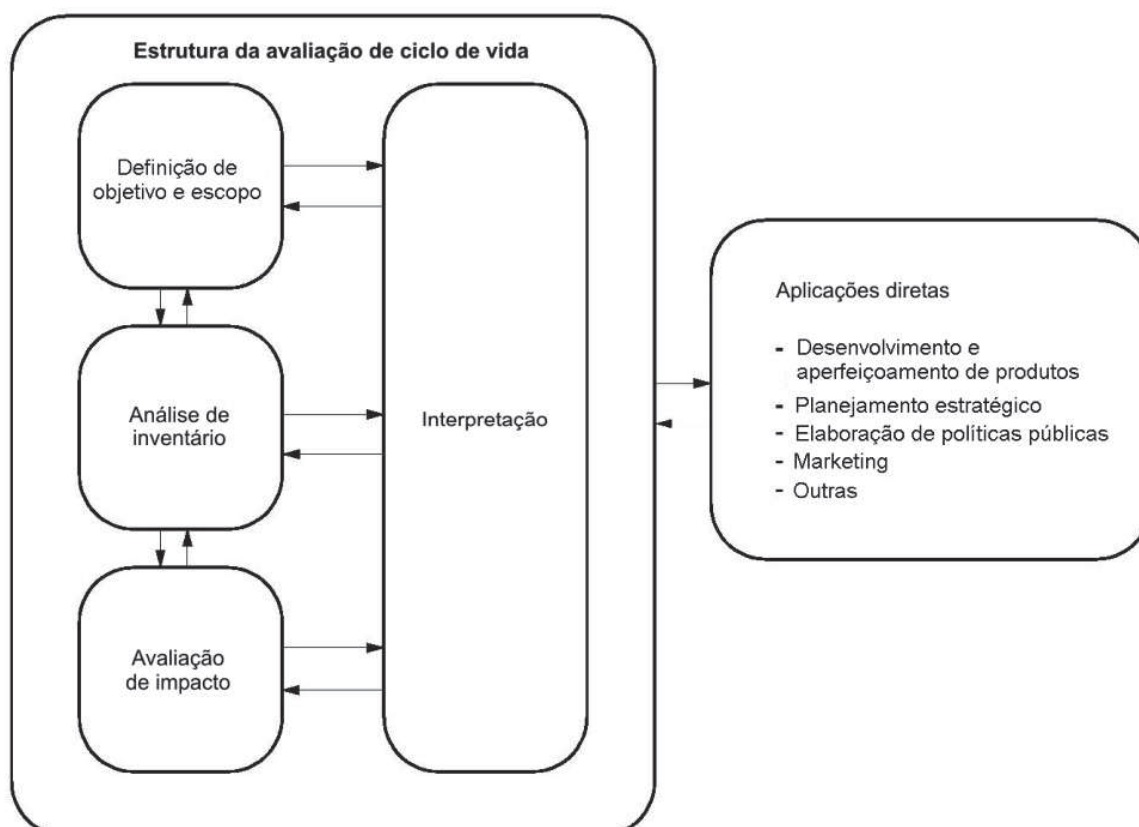
As atuais estratégias de gestão de resíduos enfatizam que a ACV tem uma relevante contribuição para fundamentar tomadas de decisão, pois são comparadas diferentes alternativas de gestão (MATOS, 2011).

### **2.7.1 Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida**

A conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos, tanto na sua fabricação quanto no consumo, tem aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreensão e da forma de lidar com aqueles impactos. Uma das técnicas em consonância com esse objetivo é a avaliação do ciclo de vida.

Com base na NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), define-se que a ACV possui na sua metodologia de aplicação quatro fases, sendo elas: a definição do objetivo e escopo; a análise de inventário; a avaliação de impactos e Interpretação. Conforme descrito na Figura 2.

Figura 2 - Fases de uma ACV



Fonte: ABNT (2009).

A seguir pode-se analisar cada uma das fases da ACV, acima descritas, tendo como base as normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b):

- Objetivo: Deve expor a sua aplicação pretendida; as razões para a realização do estudo; o público-alvo e se existe a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas.
- Escopo: Devem ser considerados e descritos os seguintes itens: O sistema de produto; as funções do sistema de produto; a unidade funcional; a fronteira do sistema, assim como outros dados e procedimentos considerados necessários para a garantia da qualidade do estudo.
- Análise de inventário do ciclo de vida (ICV): Envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas. Este consiste em um balanço de energia e massa que configura o ICV, cuja análise avalia os efeitos ambientais do sistema.
- Avaliação de impactos: Esta fase inclui a coleta de resultados dos indicadores para as diferentes categorias de impacto (classificação e caracterização).



- Interpretação: considera todas as informações obtidas anteriormente e realiza uma avaliação de todo o processo para o desenvolvimento de prioridades e a identificação de oportunidades para reduzir os potenciais impactos ambientais.

A construção do inventário de ciclo de vida (ICV) relaciona as entradas e saídas do(s) sistema(s) de todas as fases envolvidas no ciclo de vida do produto, em que as mesmas são analisadas e modeladas e todos os dados relativos aos impactos ambientais precisam ser compilados e calculados. Os resultados obtidos na fase do ICV são bases para a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e posteriormente a fase de interpretação. (SILVA, 2016).

### **2.7.2 Inventário de Ciclo de Vida**

Dentro da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) envolve a compilação e quantificação das entradas e saídas de um ou mais sistema(s) de produto. O propósito do ICV é identificar e avaliar os efeitos e cargas ambientais gerados por um produto durante o ciclo de vida, quantificando as entradas e saídas para o ambiente do sistema de produto investigado. (ABNT, 2009b).

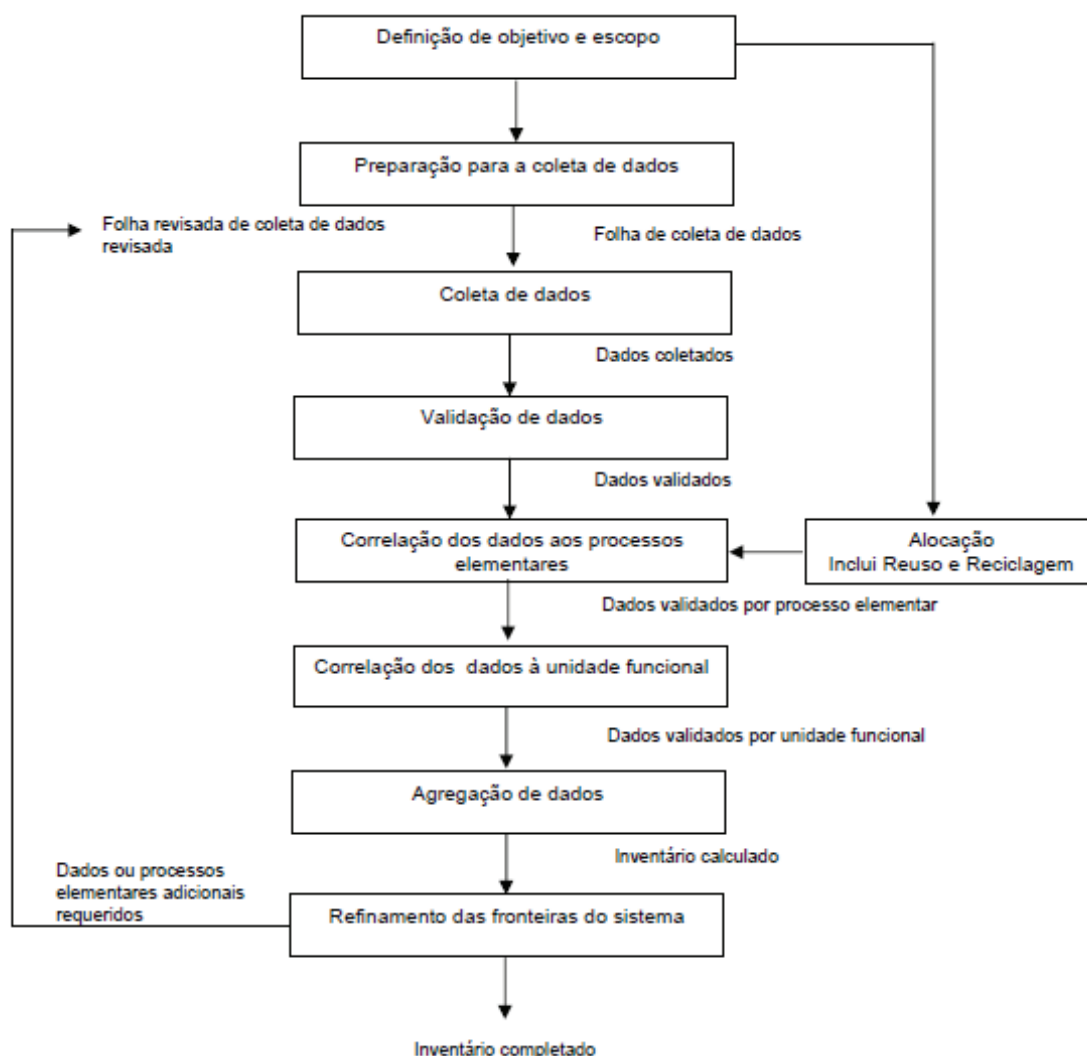
Neste contexto, a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) considera que: “A definição de objetivo e escopo prevê o plano inicial para a condução da fase de inventário do ciclo de vida”. A norma especifica os critérios necessários a serem seguidos para se elaborar uma Análise de Inventário do Ciclo de Vida. Onde o ICV é baseado em:

- a) Coleta de dados: Dados qualitativos e quantitativos a serem incluídos no inventário devem ser coletados para cada processo elementar incluindo a fronteira do Sistema. Os dados são utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo elementar.

O resultado de uma análise de inventário do ciclo de vida registra os fluxos que cruzam a fronteira do sistema e que prevê o ponto de partida para a avaliação de impacto do ciclo de vida.

Na Figura 3 é representado os passos que convêm ser seguidos na execução da ICV.

Figura 3 - Procedimentos simplificados para análise de inventário



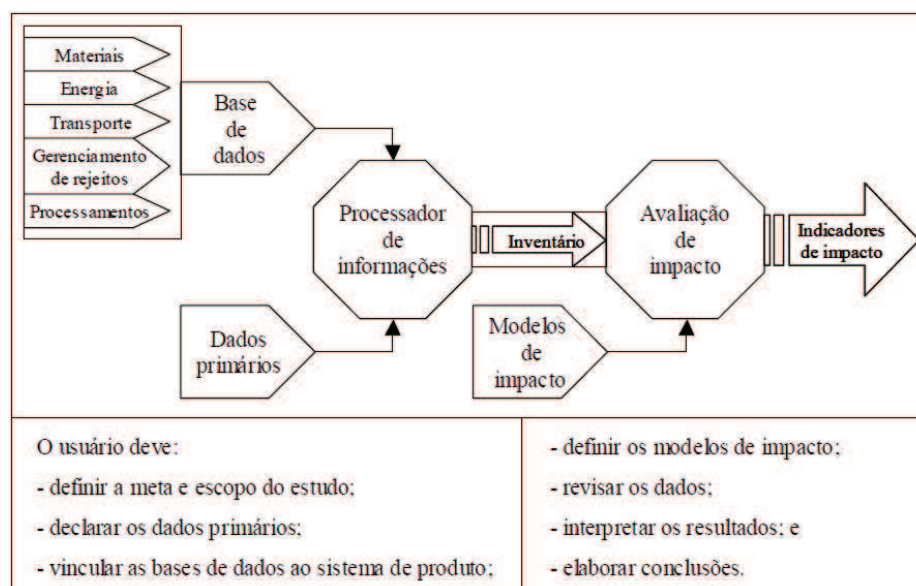
Fonte: NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b).

### 2.7.2.1 Bancos de dados de apoio ao Inventário

A ferramenta de ACV apresenta bases de dados com informações ambientais sobre produção e disponibilidade de recursos. Estas bases de dados estão inseridas em softwares, sendo constituídos a partir de inventários do ciclo de vida de produto ou serviço.

Vigon (apud YOKOTE, 2003) recomenda que a base de dados seja aberta, permitindo a criação de novas bases, em que deve conter os materiais e processos. De acordo com Yokote (2003), pode-se observar na Figura 4 a interface gráfica da estrutura de um processador de informações para a realização do inventário.

Figura 4 - Modelo de programa computacional para apoio a ACV



Fonte: Yokote (2003).

De acordo com FONSECA (2011), os bancos de dados possuem características de cada região. Para executar a ACV tem de recorrer a base de dados de emissões. Estas bases de dados podem ser encontradas no ECOINVENT, SPINE, GEMIS, TEAM e ExternE. Existem vários modelos de *softwares* para serem utilizados, mas os de uso mais frequente são o SimaPro7, GaBI 4.0, KCL-ECO 3, LCAit e Umberto 5.0.

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) considera fundamental a implantação de um modelo de inventário brasileiro, em que em conjunto com algumas instituições o objetivo é disponibilizar um banco de dados relevante a realização de inventários. (IBICT, 2009).

#### 2.7.2.2 Metodologias usadas no levantamento de dados de inventário

De acordo com a NBR ISO 14041 (ABNT, 2004c) a coleta de dados requer perfeito conhecimento sobre cada unidade de processo. No Quadro 5 estão expostas algumas razões que mostram a importância da coleta de dados.

Quadro 5 - Importância da coleta de dados

Pontos a serem analisados	Razões e Questões referentes à coleta de dados
Dirigentes	-Respostas a pedidos de informação em produtos ou processos de autoridades, clientes e organizações consumidoras. -Aperfeiçoar um produto ou processo (identificar oportunidades). -Providencia números quantificados para debate público em questões ambientais. -Ferramenta de marketing.
Barreiras	-Confidencialidade. -Falta de conhecimento. -Desenvolvimento de metodologias, pesquisa em bases comuns. -Custo e tempo.
Como superar	-Pessoa ou Instituto Independente. -Assegurar larga participação. -Agregar números. -Trabalhar com associações de indústria é melhor do que companhias individuais. -Ser objetivo no começo do projeto.
Benefícios	-Melhor entendimento de processos e Produtos. -Mais experiência obtida no campo da ACV. -Trazer a ciência a debate público em questões ambientais (quantificação). -Bases para ferramentas de comunicação.

Fonte: Beaufort-Langeveld (2003 apud Moretti, 2011).

A coleta de dados pode ser composta com diferentes e variadas fontes, podendo ser dividida em quatro categorias, como detalhado no Quadro 6. (MORETTI, 2011).

Quadro 6 - Variedade das fontes de dados

Fonte de dados	Exemplos
Base de dados eletrônica	Softwares públicos e comerciais e fontes de Internet em ACV.
Dados de Literatura	Artigos científicos, relatórios públicos, estudos existentes de ACV.
Dados não publicados	Dados fornecidos por empresas, laboratórios, autoridades e fontes correlatas.
Medições e cálculos	Dados obtidos através de cálculos e estimativas

Fonte: Moretti (2011).

## 2.8 CATEGORIAS DE IMPACTO AMBIENTAIS

De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) as categorias de impacto representam as questões ambientais, às quais os resultados da análise do inventário

do ciclo de vida podem ser associados. De maneira que as limitações das coletas de dados podem intervir nas características de cada categoria de impacto.

O guia holandês de ACV, que pode ser visualizado no Quadro 7, expõe alguns fatores a serem considerados na seleção das categorias de impacto e o Quadro 8 exemplifica algumas categorias de impacto. (SAADE, 2013).

Quadro 7 - Considerações para a seleção das categorias de impacto

<b>Abrangência</b>	A lista de categorias de impacto deve cobrir todos os problemas ambientais de relevância, isto é, problemas geralmente considerados como os de maior importância assim como os que podem ser de interesse para o LCA em estudo.
<b>Praticidade</b>	A lista não deve conter um número exagerado de categorias
<b>Independência</b>	As categorias devem ser mutuamente independentes.
<b>Possibilidade de interação nos cálculos</b>	Deve ser possível conectar os parâmetros resultantes da análise de inventário às categorias de impacto escolhidas e aos métodos de caracterização.
<b>Relevância ambiental</b>	Os indicadores derivados dos métodos de caracterização devem ser ambientalmente relevantes para a categoria de impacto.
<b>Métodos científicos</b>	Os métodos de caracterização devem ser válidos cientificamente.

Fonte: Saade (2013).

Quadro 8 - Lista de categorias de impacto do guia ACV

	<b>Categorias de Impacto</b>
1	Recursos – energia e material
2	Recursos – água
3	Recursos – Solo (incluindo pântanos)
4	Saúde Humana – impactos toxicológicos
5	Saúde Humana – impactos não toxicológicos
6	Saúde Humana no ambiente de trabalho
7	Consequências ecológicas – aquecimento global
8	Consequências ecológicas – acidificação
9	Consequências ecológicas – depleção da camada de ozônio
10	Consequências ecológicas – impactos ecotoxicológicos
11	Consequências ecológicas – Eutrofização
12	Consequências ecológicas – Formação de foto-oxidantes
13	Consequências ecológicas – Alterações de habitat e impactos na biodiversidade
14	Fluxos de entrada que não são rastreados
15	Fluxos de saída que não são rastreados

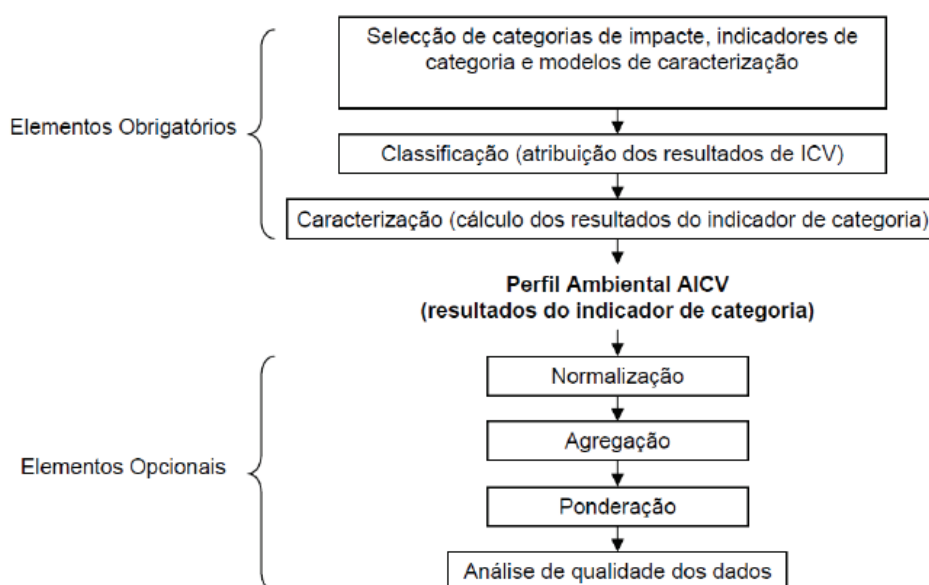
Fonte: Lindfors (apud Saade, 2013).

## 2.9 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA COMO INSTRUMENTO NA MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

O inventário do ciclo de vida envolve a compilação de dados mensuráveis, sejam estes fluxos de materiais e energia ou emissões de poluentes. A possibilidade de diferenciar três tipos de fluxos de inventário, sendo eles: fluxos elementares, fluxos de produto, fluxos de resíduos. O uso de recursos e o uso do solo, as matérias-primas, matérias auxiliares e a energia, são registradas como entradas. As emissões para o ar, água e solo, bem como resíduos, produtos e coprodutos, são consideradas saídas. (FONSECA, 2011).

Os dados coletados no inventário são utilizados nas intervenções ambientais, a avaliação dos impactos compreende uma série de elementos sendo estes obrigatórios e opcionais, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Elementos da fase AICV



Fonte: NBR ISO 14040 (2006 apud Fonseca, 2011).

Por fim, os elementos obrigatórios convertem os resultados do inventário em resultados de indicador de categoria. (FONSECA, 2011).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO**

Para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, foi identificada uma obra residencial na fase de acabamento, com a finalidade de ser o objeto de estudo e de realizar o inventário da geração de resíduos de gesso na etapa construtiva.

A obra residencial está localizada no município de Mineiros no Estado de Goiás, com área de 185,30 m<sup>2</sup>, composta de sala, copa, 2 quartos, 1 suíte, 2 banheiros, lavanderia, despensa e garagem para 2 carros. Esta obra foi utilizada para o levantamento de dados relativos as entradas de matérias-primas que originam os resíduos de gesso, assim como a quantidade de resíduos de gesso gerados por metro quadrado de obra construída. No final do processo, todo o resíduo produzido na obra foi coletado e registrada sua massa.

#### **3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA**

Para a execução da pesquisa, a metodologia foi estruturada em 4 etapas, conforme apresentado no Quadro 9, onde pode-se visualizar o fluxograma identificando o objetivo geral, estratégia da pesquisa, objeto do estudo, fronteira do sistema e etapas.

Quadro 9 – Delineamento da pesquisa

<b>Objetivo Geral:</b> <b>Avaliar o inventário do ciclo de vida do gerenciamento de resíduo de gesso gerado em obras da construção civil.</b>	
Estratégia da pesquisa: Levantamento de dados <i>in loco</i>	
Objeto de Estudo: Execução do forro de gesso em uma obra residencial	
Fronteira do Sistema: Resíduo de gesso gerado no canteiro de obras à sua disposição final.	
<b>Etapas da pesquisa</b>	<b>Metodologia</b>
1 - Diagnóstico dos resíduos de gesso gerados no canteiro de obra.	Etapa de Levantamento de dados primários e secundários: quantificação de entradas e saídas de matéria prima e resíduo de gesso. Acompanhamento de obra, instalação de gesso. Levantamento de dados <i>in loco</i> como: Registro fotográfico, pesagem do resíduo.
2 – Identificação dos Impactos ambientais da disposição final dos resíduos.	Identificar o destino final e os respectivos impactos através da caracterização dos resíduos de gesso. Pesquisa bibliográfica, levantamento <i>in loco</i> , uso do laboratório.
3 – Elaboração de um inventário (balanço mássico) no âmbito do ciclo de vida.	Construção do Inventário, colocar as informações em planilhas com dados de entrada e saída. Diagrama de blocos com entradas e saídas, e planilha de aspectos e impactos ambientais.
4 – Com base nas etapas 2 e 3, fundamentar a mudança de classe do gesso.	Critérios para o resíduo de gesso ser classe B. Comparação e fundamentação com base na literatura disponível.

Fonte: Elaborado pela autora.



### 3.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS

O desenvolvimento do estudo foi realizado através das etapas descritas a seguir:

#### **3.3.1 Etapa 1 - Diagnóstico dos resíduos de gesso gerados em obras: Coleta**

O diagnóstico ocorreu através de experimentação no canteiro de obra, para quantificação do resíduo gerado de gesso. Foi realizada a quantificação mássica das entradas de matéria-prima e saídas dos resíduos no processo de fabrico do forro de gesso, apresentando como propósito o levantamento de dados primários. Para obtenção dos resíduos, o local de coleta foi forrado com maderite de maneira a não contaminar o gesso com outros resíduos de construção.

Após o término do processo, todo o resíduo de gesso gerado foi coletado, ensacado, verificado a massa e descartado. Podendo assim constatar a quantidade de entrada e saída de matéria-prima e resíduo de gesso gerado.

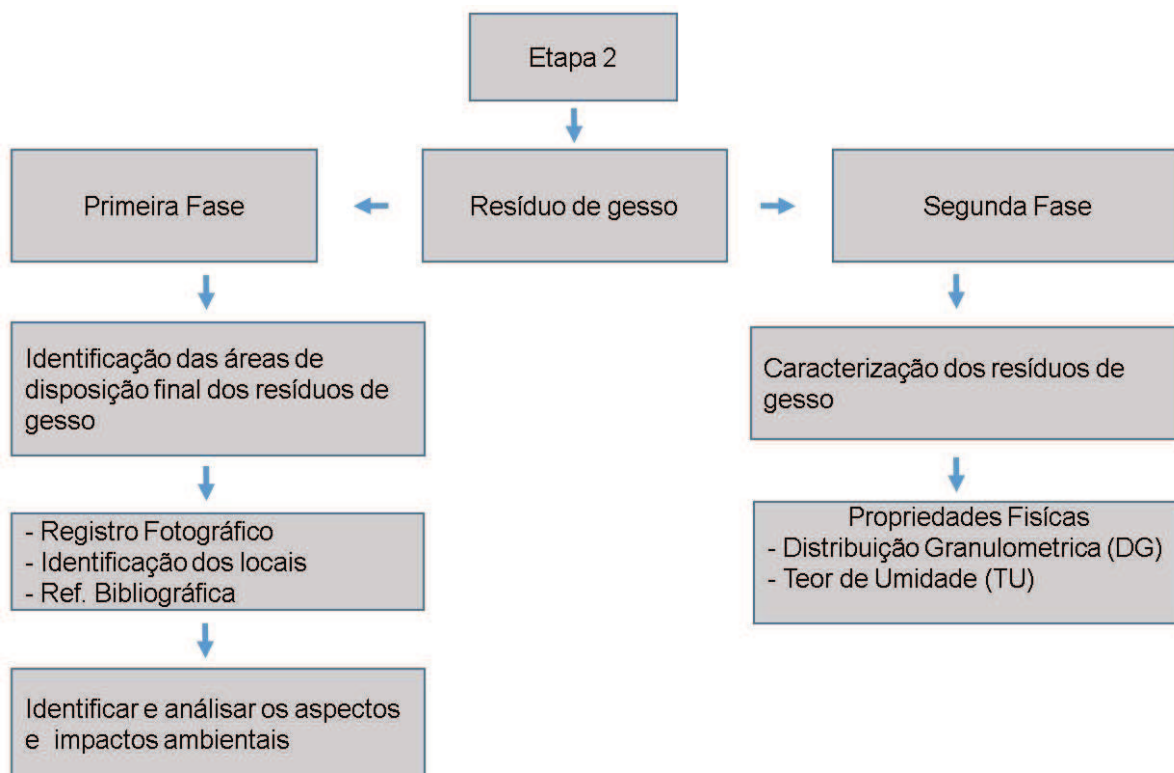
#### **3.3.2 Etapa 2 - Identificação e análise dos impactos ambientais associados a disposição final dos resíduos**

Nesta etapa foram realizadas revisões bibliográficas em livros técnicos, artigos, teses e dissertações obtendo a caracterização dos resíduos de gesso gerados.

Esta etapa é constituída de duas fases, conforme demonstrado no fluxograma descrito na Figura 6.

A primeira, destinada a identificar os locais de disposição final dos resíduos de gesso, e posteriormente identificar e analisar os impactos ambientais. Já a segunda, contempla a caracterização das amostras de resíduo de gesso em relação as propriedades físico-químicas.

Figura 6 – Fases da etapa 2 da metodologia



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.3.2.1 Primeira fase: Identificação das áreas de disposição final dos resíduos de gesso

Em relação aos locais de disposição final dos resíduos de gesso irregulares, inicialmente buscou-se identificar as áreas utilizadas que apresentavam autorização da Prefeitura Municipal de Mineiros e posteriormente áreas irregulares. Esta informação estava disponível no Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Mineiros-GO. Com base nas informações obtidas, utilizou-se uma câmera fotográfica para registro e percorreu-se todos os bairros do município, realizando a identificação através da captura de imagem, cadastramento em planilhas com a identificação dos locais.

Com o objetivo de fundamentar a pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica em livros técnicos, artigos, teses e dissertações. Para a identificação dos potenciais aspectos e impactos ambientais do resíduo de gesso, utilizou-se a metodologia proposta por Sanches (2013) conforme o modelo apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 - Modelo utilizado para identificação dos aspectos e impactos ambientais

Atividade	Aspectos	Impactos ambientais

Fonte: Sanches (2013).

Para análise dos aspectos e impactos ambientais, foi utilizada a classificação apresentada no Quadro 11. Para avaliar o grau de severidade das áreas foi empregada a metodologia de avaliação dos aspectos e impactos ambientais proposto por Gomes (2013) e utilizados pela UNISINOS.

Quadro 11 – Classificação dos impactos ambientais.

Impacto	Definição
Contaminação hídrica	Alteração da qualidade da água, causando danos à saúde, à flora e à fauna.
Contaminação do solo	Alteração da qualidade do solo, causando danos à saúde, à flora e fauna.
Alteração da qualidade do ar	Emissão de materiais particulados, gases e poeiras, causando danos à saúde.
Risco à saúde	Exposição à agentes físicos, químicos e biológicos, com potencial dano à saúde.
Poluição Sonora	Ruídos, barulhos, sons acima dos níveis determinados pelo Conama 01/90 e NBR 10151, causando danos a saúde e à fauna.
Uso de recursos naturais não renováveis ou escassos	Emprego de materiais que estão disponíveis em quantidade limitada (finita) na natureza.
Uso de recurso natural renováveis	Emprego de materiais que são repostos de forma natural ou artificialmente na natureza.
Ocupação de aterros (sanitário ou industrial)	Uso e ocupação do solo para disposição de resíduos sólidos.

Fonte: Adaptado de Gomes (2013)

Para avaliar os aspectos e impactos ambientais foram levados em conta os seguintes critérios apresentados nos Quadros 12, 13 e 14.

Quadro 12 – Critérios de abrangência

Classificação	Pontuação
Pode causar impacto local ou no entorno.	1
Pode causar impacto que ultrapassa o local da ocorrência, porém é restrito aos limites da obra.	2
Extrapola os limites da instalação	4

Fonte: Adaptado de Gomes (2013)

Quadro 13 – Critérios de Severidade

Classificação	Pontuação
Não causa danos: Impactos que não causam danos ou com efeitos benéficos sobre o homem e/ou ao meio ambiente, produto e serviços.	1
Causa danos leves: Impactos no meio ambiente não chega a comprometer nenhuma espécie de vida ou recursos naturais, podendo ser recuperado através de pequenas ações.	2
Causa danos graves: Impacto no meio ambiente pode comprometer alguma espécie de vida ou recursos naturais e a recuperação poderá depender de maiores recursos.	3
Causa danos gravíssimos: Impacto no meio ambiente compromete alguma espécie de vida ou recursos naturais, e a recuperação poderá ser impossível ou dependerá de recursos especiais.	4

Fonte: Adaptado de Gomes (2013)

Quadro 14 – Critérios de Frequência

Classificação	Pontuação
Baixa: Aspectos decorrentes de atividades/ tarefas que, apesar de alta frequência de execução, configuram-se ou podem ocorrer de uma a quatro vezes ao mês.	1
Média: Aspectos decorrentes de atividades/ tarefas que, apesar da alta frequência de execução, configuram-se ou podem ocorrer de cinco a nove vezes ao mês.	2
Alta: Aspectos decorrentes de atividades/ tarefas que, apesar da alta frequência de execução, configuram-se ou podem ocorrer de dez vezes em diante ao mês.	4

Fonte: Adaptado de Gomes (2013)

A partir da somatória das pontuações foi possível classificar a significância dos impactos, podendo ser observada no Quadro 15. E o Quadro 16 apresenta a avaliação de aspectos e impactos ambientais da disposição do resíduo de gesso e manuseio do gesso.

Quadro 15 – Classificação da pontuação dos impactos ambientais

Classificação	Pontuação
3 a 5	Desprezível
6 a 8	Moderado
9 a 12	Crítico

Quadro 16 – Avaliação dos aspectos e impactos ambientais da disposição do resíduo de gesso e manuseio do gesso.

IDENTIFICAÇÃO		AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS				
Aspectos	Impactos ambientais	Abrangencia	Severidade	Frequência	Impacto	Significância

### 3.3.2.2 Segunda fase: Caracterização físico-química dos resíduos de gesso

Na Tabela 9 são apresentados os ensaios que foram desenvolvidos e as siglas utilizadas para sua identificação.

Tabela 9 - Ensaios e suas siglas

Ensaio	Sigla
Distribuição Granulométrica	DG
Teor de Umidade	TU

Fonte: Elaborada pela autora.

#### a) Distribuição Granulométrica

Por meio da análise de distribuição granulométrica (DG) foi possível identificar o tamanho médio das partículas de uma determinada amostra. A DG dos materiais foi realizada pelo procedimento descrito na NBR 12127 (ABNT, 2017) que especifica o método para a determinação das propriedades físicas do gesso em forma de pó. Foram analisadas amostras de resíduos de gesso oriundos da construção civil.

As amostras foram preparadas por quarteamento de acordo com a NBR 10007 - Amostragem de resíduos sólidos (ABNT, 2004d). Para realizar a análise granulométrica, a amostra foi seca em estufa, e colocada em dessecador, para o resfriamento sem absorção de umidade. Foram realizados dois ensaios de granulometria, sendo estes pelo método de difração a laser e análise granulometria utilizando a sequência de peneiras.

Realizou-se a análise granulométrica utilizando uma sequência de 4 peneiras, padronizadas pela ABNT, da maior para de menor abertura: 0,840 mm; 0,420 mm; 0,210 mm e 0,105mm. Após verificou-se a massa do gesso retida em cada uma das peneiras. O ensaio envolveu a utilização dos seguintes equipamentos: peneiras,

fundo de peneira e tampa, balança com resolução de 0,1 g, estufa de secagem com circulação natural que permitiu a elevação da temperatura até 200°C e dessecador.

A massa retida do material em cada peneira foi registrada para representação gráfica (curva granulométrica) do percentual retido de massa acumulada, em função da abertura das peneiras utilizadas.

Para a determinação da composição granulométrica e determinação do módulo de finura foi utilizado equipamento de granulometria a laser modelo S3500 da marca Microtrac instalado no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMat) na Unisinos.

#### b) Teor de umidade

O ensaio de teor de umidade foi realizado de acordo com a NBR 12130 (ABNT, 2017). O ensaio foi executado através da secagem do material em estufa a 105°C por 24 horas, seguido de registro da massa após massa constante.

### **3.3.3 Etapa 3 – Elaboração do Inventário (balanço mássico) no âmbito do ciclo de vida**

A etapa 3 foi conduzida seguindo a estrutura metodológica baseada na NBR ISO 14044 (ABNT, 2014) em que a análise do Inventário do Ciclo de Vida é uma parte essencial da ACV que fornece dados relativos a todas as entradas e saídas de matéria-prima ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

A análise do inventário do Ciclo de vida constituiu-se nas seguintes atividades: definição de objetivo e escopo, coleta de dados, balanço mássico e correlação dos dados.

Nesta etapa, a partir dos dados obtidos na quantificação das entradas e saídas, para a construção do inventário do ciclo de vida, foi usado o diagrama de blocos, visando auxiliar nas informações do processo bem como na identificação das principais entradas e saídas.

Na Figura 7 pode-se visualizar o modelo de diagrama de blocos utilizado.

Figura 7 – Modelo do diagrama de blocos



Fonte: Elaborada pela autora.

Para a validação da qualidade da fonte de dados utilizou-se a Matriz Pedigree, apresentada por Garbin (2017) adaptada de Weidema (1998) conforme descrito no Quadro 17.

Quadro 17 - Requisitos de qualidade de dados.

IQD	NOTA				
	1	2	3	4	5
Confiabilidade	Dados checados baseados em medições	Dados checados baseados parcialmente em suposições, ou dados não checados baseados em medições	Dados não checados baseados parcialmente em suposições	Estimativa qualificada	Estimativa não qualificada
Correlação temporal	< 3 anos de diferença	< 5 anos de diferença	<10 anos de diferença	<15 anos de diferença	Desconhecimento ou > 15 anos
Correlação geográfica	Dados de uma área adequados	Dados médios de uma área maior	Dados de uma área com uma estrutura de produção similar	Dados de uma área com uma estrutura de produção levemente similar	Desconhecida ou de área diferente
Correlação tecnológica	Dados dos processos em estudo e de uma empresa específica	Dados dos processos em estudo, de diferentes empresas	Dados dos processos em estudo de diferentes tecnologias	Dados de materiais e processos relacionados com a mesma tecnologia	Dados de materiais e processos relacionados com diferentes tecnologias

Fonte: Garbin, 2017 adaptado de Weidema, 1998.

### 3.3.4 Etapa 4 – Fundamentação da mudança de classe do gesso

Esta etapa será realizada com base na avaliação dos resultados obtidos na etapa de caracterização dos resíduos de gesso gerados pela construção civil. Esta avaliação deve permitir a compreensão da mudança de classe do resíduo de gesso aferida pela Resolução nº 469 (CONAMA, 2015), passando este da classe C para a classe B assim como a fundamentação teórica confrontada com a literatura.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica com informações objetivando a identificação dos principais potenciais de reciclagem do resíduo de gesso, optou-se em agrupar os trabalhos pesquisados em uma tabela para melhor visualização. Conforme modelo descrito no Quadro 18.

Quadro 18 - Potencias de reciclagem do resíduo de gesso

<b>Autor</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Método</b>	<b>Conclusão</b>

Fonte: Adaptado de Kochem (2016).



## 4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS DE GESSO GERADOS

O forro de gesso foi executado com placas pré-moldadas lisas, conforme estabelecido na NBR 16497 (ABNT, 2016). As suas características especificadas pela norma estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Características das placas de gesso

	<b>Dimensões e tolerâncias</b>	<b>Tolerância</b>
Comprimento	615,0 – 650,0 – 700,0 (mm)	±2,0
Largura	615,0 – 650,0 – 700,0 (mm)	±2,0
Espessura lateral	25,0 (mm)	
Tipo de suspensão	Componente não oxidável – deve ser de metal	
Tipo de encaixe		

Fonte: NBR 16497 (ABNT, 2016).

A geração de resíduos no processo de execução do forro de gesso é proveniente do transporte, do manuseio do material, preparo, aplicação e endurecimento da pasta. O processo segue as etapas de polvilhamento do gesso sobre a água, hidratação do material, homogeneização da pasta, ganho de consistência adequada e aplicação sobre o teto (Figura 8).

Figura 8 - Etapas da construção do forro de gesso: pó de gesso (A), mistura do pó de gesso com água (B), processo de homogeneização da mistura com sisal (C) e forro de gesso sendo executado (D)

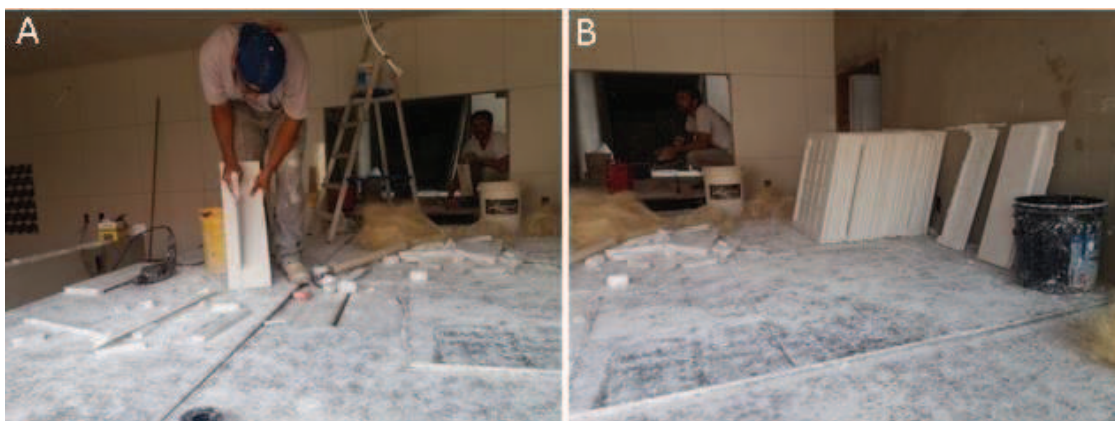


Fonte: Registrada pela autora.

A partir da Figura 8 é possível observar a quantidade de resíduos gerados no manuseio do material, onde o mesmo necessita ser redimensionado para se adequar ao ambiente que será feita a instalação.

Na Figura 9 pode se observar o desperdício de material referente ao seu manuseio.

Figura 9 - Geração do resíduo pelo manuseio (A) e armazenamento das placas (B)



Fonte: Registrada pela autora.

No processo de execução do forro as placas são fixadas através de arames galvanizados na laje, possuindo a junção entre as placas que foram confeccionadas através de uma mistura com pó de gesso, água e fibra de sisal. Esta mistura foi utilizada na parte superior das placas e após a conclusão do forro nas emendas da parte inferior, sendo empregada pasta de gesso para cobrir as juntas e sulcos (Figura 10).

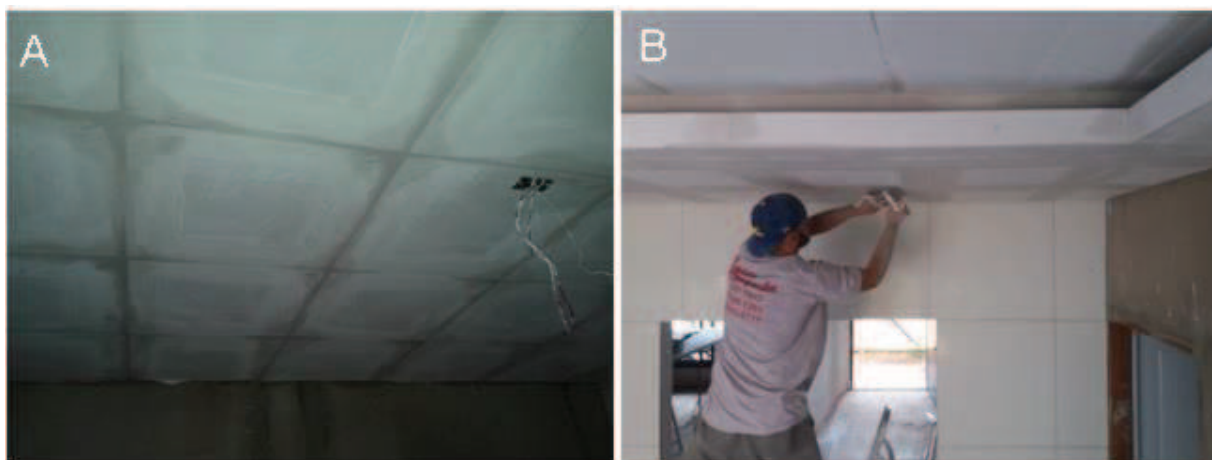
Figura 10 - Pasta de gesso sendo passada para cobrir as juntas (A) e manuseio da pasta de gesso (B)



Fonte: Registrada pela autora.

Após a secagem da pasta de gesso é passada uma lixa no mesmo e após realizada a aplicação da pintura (Figura 11).

Figura 11 - Gesso finalizado (A) e gesso sendo lixado (B)



Fonte: Registrada pela autora.

Os resíduos de gesso produzidos no processo de forro não se diferem dos demais processos de aplicação do mesmo, em que os resíduos gerados devem ser separados dos demais materiais como restos de alvenaria, papéis, madeira, argamassa, lixo orgânico entre outros. Os canteiros de obras devem apresentar um local adequado para o armazenamento individual deste resíduo. Processo este que não acontece na cidade de Mineiros-GO.

O manuseio adequado destes resíduos deve ser pensado desde a fase de coleta, segregação, transporte e armazenagem até sua destinação final. Com o propósito de cumprimento das legislações vigentes fomentando a gestão ambiental, pois o resíduo de gesso apresenta grande potencial poluidor, Pinheiro (2011) destaca que devido as características químicas do resíduo de gesso este material pode ser reciclado, porém não pode estar misturado com outros tipos de resíduos.

Na obra em estudo, para o processo de forragem com gesso foi adquirido 3.052,50 kg de placas de gesso, o que correspondeu a 555 unidades e 470 kg de pó de gesso. Após o término do processo, todo o resíduo de gesso gerado foi coletado, ensacado, registrada sua massa e descartado. Observa-se na Figura 12 as entradas e saídas de matéria-prima.

Figura 12 - Entrada de matérias-primas e saída do resíduo no processo de fabrico do forro de gesso

Entradas (kg)	Etapa de origem	Resíduo gerado	Quantidade gerada (Kg)
Placa de gesso – 3.052,50 kg Pó de gesso – 470 kg Sisal – 25 kg	Forro 	 	Resíduo de Gesso (placa de gesso + pó de gesso + sisal) 295 kg

Fonte: Elaborada pela autora.

Foi quantificado um total de 295 kg de resíduo de gesso (base úmida). O que representou 8,35% do gesso utilizado, correspondendo uma perda de 1,59 kg de gesso (base úmida) por m<sup>2</sup> de obra construída.

De acordo com Geraldo et al. (2017) o resíduo de gesso representa uma significativa porcentagem do total de resíduos de RCD gerados pela sociedade, em que disposto de forma inadequada pode contaminar o solo e os recursos hídricos.

Pinheiro (2011), ressalta que na construção civil os resíduos de gesso são decorrentes da aplicação das pastas de revestimento e aplicações de componentes. O volume estimado de resíduo produzido por algumas dessas atividades, são: revestimento de 30% a 40%, chapas de gesso 12% e alvenaria de blocos 5%.

Analisando os resultados obtidos nesta etapa, observa o índice de perda deste material, Kochem (2016) apresenta alguns dados em seu estudo, sendo:

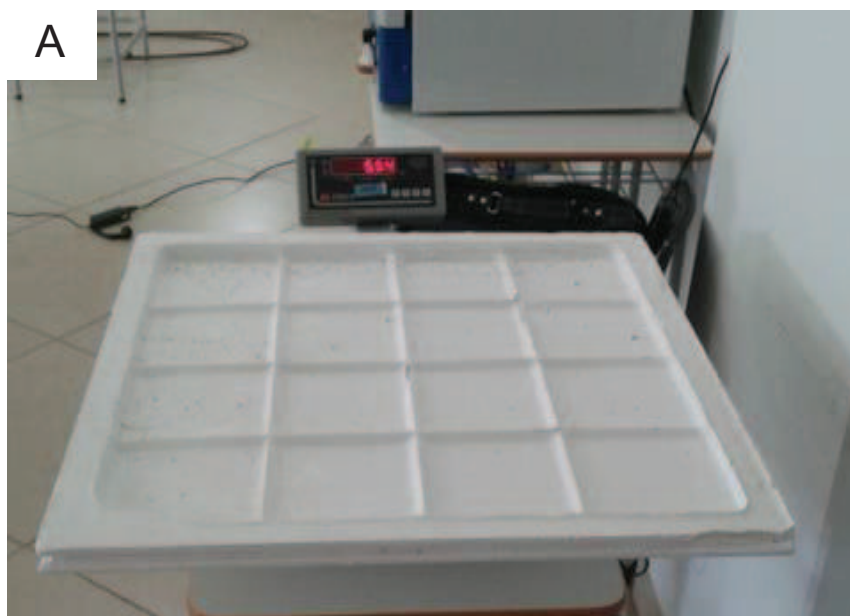
- O município de São Carlos entre os anos de 1999 a 2002, constataram uma geração de resíduo de gesso per capita de 1,93 kg/hab.dia.

- Na região metropolitana de Recife os resíduos de gesso correspondem a 4% do entulho gerado, o equivalente a 50m<sup>3</sup> de gesso por dia.

Foi realizada uma amostragem de 6 placas, as quais foram amostradas de forma aleatória representando aproximadamente 1% do total de placas utilizadas na

obra, as quais foram registradas as massas, conforme Figura 13, em balança de precisão no Laboratório de Ciências Exatas na UNIFIMES.

Figura 13 – Placa de gesso usada na obra em estudo



Fonte: Registrada pela autora.

O resultado do registro da massa pode ser observado na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Quantificação mássica das placas de gesso

Placa	01	02	03	04	05	06	Massa total (kg)	Média massa/placa (kg)
Massa (kg)	5,10	5,26	5,79	5,53	5,78	5,54	33,00	5,50

## 4.2 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO FINAL DO RESÍDUO DE GESSO

### 4.2.1 Primeira fase: Identificação das áreas de disposição final dos resíduos de gesso

No Brasil os resíduos de gesso provenientes das atividades de beneficiamento, são constituídos de sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), apresenta sua disposição regulamentada pela Resolução nº 469 (CONAMA, 2015), sendo classificados como classe B, sendo considerados resíduos recicláveis. A NBR

10.004 (ABNT, 2004b) classifica o gesso como resíduo não inerte, devido à sua natureza sulfática e a alta solubilidade.

De acordo com Pinheiro (2011) o resíduo deve ter destinação em áreas apropriadas, a disposição em ambientes inadequados permite a dissociação dos componentes do gesso em dióxido de carbono, água e gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), que é tóxico e inflamável. A sua incineração produz dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

Pode-se observar no Quadro 19 o relato de diversos autores sobre a disposição inadequada do resíduo de gesso.

Quadro 19 - Disposição do Resíduo de Gesso

Autor	Disposição final
Cartaxo, Freitas e Zanta (2013)	Defende que os diferentes tipos de resíduos gerados na construção civil, o gesso é um dos resíduos que demanda um manejo diferenciado por apresentar potencial poluidor.
Araújo (2009)	Defende que o gesso deve ter destinação final em áreas apropriadas, de forma a evitar a contaminação do solo e do lençol freático, com aumento da acidez e sulfurização do ambiente.
Hendges (2013)	Coloca que sua disposição inadequada ou em aterros comuns pode provocar a dissolução dos componentes e torná-lo inflamável.
Pinheiro (2012)	Afirma que a disposição em ambiente úmido, associado as condições aeróbicas e a presença de bactérias redutoras de sulfato permite a dissolução dos componentes do resíduo em dióxido de carbono, água e gás sulfídrico.
NBR 10004 (ABNT, 2004b)	Classifica o gesso como resíduo não inerte devido a sua natureza sulfática e a alta solubilidade. Sendo a disposição final do gesso juntamente com o RCD classe A é inadequada.

Fonte: Elaborado pela autora.

Contudo os resíduos de gesso gerados pelo objeto deste estudo tiveram sua disposição em aterro não controlado, sendo esta prática não recomendada e não atendendo a recomendação da Resolução nº 469 (CONAMA, 2015). É importante salientar que, assim como na maioria dos municípios brasileiros, no município de Mineiros-Goiás não existe local apropriado para o descarte correto do resíduo de

gesso oriundo da construção civil, como mostra a Figura 14. Observa-se que o resíduo de gesso é descartado junto aos resíduos domésticos.

Figura 14 – A- Vista aérea do lixão da cidade de Mineiros-Go; B- Descarte dos resíduos de gesso



Fonte: Registrada pela autora.

Após a conclusão do forro de gesso, a coleta e o descarte dos resíduos gerados, foi possível identificar e avaliar os respectivos impactos ambientais, onde foram identificados os principais problemas associados à disposição inadequada dos resíduos de gesso. Pode-se observar que os resíduos de gesso estão sendo descartados em diversos locais do município, servindo, em alguns casos como material para aterrar áreas. Verificou-se que os resíduos são depositados em áreas impróprias e ilegais, sendo evidente os impactos ambientais. Na Figura 15 pode ser observado a disposição junto ao lixo orgânico no aterro sanitário, e o caminhão de papa entulho fazendo descarte dos resíduos de RCD.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) define a forma como o país deve dispor os seus resíduos, incentivando a reciclagem e a sustentabilidade. Estabelece que para os aterros sanitários somente serão destinados rejeitos, sendo na sua totalidade de matéria orgânica. Portanto no Município de Mineiros-Go os resíduos gerados nos canteiros de obras são descartados no aterro sanitário devido à ausência de fiscalização e locais adequados para o descarte.



Figura 15 – Panorâmica da situação do aterro sanitário recebendo RCD.



Fonte: Registrada pela autora.

Em alguns locais da cidade pode-se constatar o acúmulo de resíduos de gesso misturado com RCD de diferentes classes. Podendo ser constatado pela Figura 16.

Os problemas ambientais resultantes da disposição de RCD são motivos de preocupação, sendo gerados desde a extração de recursos naturais e a disposição no meio ambiente sem nenhum controle. Legislações são empregadas com o intuito de minimizar e prevenir a geração de RCD. Em países da Europa na década de 1980 iniciaram ações a fim de minimizar estes problemas, porém no Brasil somente a partir de 2002 que surgiram políticas públicas para a gestão dos resíduos gerados na construção civil estabelecendo diretrizes, critérios e procedimentos. A falta de gerenciamento destes resíduos afeta as cidades nos aspectos sociais, econômicos e ambientais (Brasileiro, Matos, 2015).

Figura 16 – Resíduo de gesso descartado junto com diversos RCD próximo a margem de rio (A / C); Resíduos sendo descartados próximo ao ponto de geração (B); Resíduos de várias classes sendo utilizados para aterrar terrenos (D).



Fonte: Registrada pela autora.

A indústria da construção civil apresenta a atividade com maior impacto sobre o meio ambiente, sendo o maior consumidor de matérias-primas em que gera resíduos em todos seus processos, desde a extração de matéria prima a produção dos produtos (Brasileiro, Matos, 2015). Para a identificação dos impactos ambientais gerados pelo resíduo de gesso utilizou-se o modelo apresentado no Quadro 20.

Quadro 20 – Identificação dos aspectos e impactos ambientais

Atividade	Aspecto	Impacto Ambiental
<p data-bbox="225 367 628 398">Descarte em local inadequado</p> 	<p data-bbox="831 367 1034 501">Disposição em terrenos vagos misturado com RCD</p> <p data-bbox="831 539 1034 636">Disposição em local inapropriado</p>	<p data-bbox="1086 367 1455 501">Contaminação do solo e do lençol freático, com aumento da acidez e sulfurização do ambiente.</p> <p data-bbox="1086 539 1455 636">Sulfato reage com aluminatos do cimento, gerando etringita</p>
<p data-bbox="225 761 571 792">Descarte em vias públicas</p> 	<p data-bbox="831 761 1050 896">Disposição no passeio público, misturado com RCD</p>	<p data-bbox="1086 761 1455 857">Sulfato reage com aluminatos do cimento, gerando etringita</p>
<p data-bbox="225 1202 453 1234">Descarte no lixão</p> 	<p data-bbox="831 1202 1034 1270">Disposição em lixão</p>	<p data-bbox="1086 1202 1455 1270">Produz dióxido de carbono e gás sulfídrico.</p> <p data-bbox="1086 1308 1455 1404">Sulfato reage com aluminatos do cimento, gerando etringita.</p> <p data-bbox="1086 1442 1455 1509">Contaminação do solo, lençol freático.</p>
<p data-bbox="225 1617 539 1648">Descarte próximo a rios</p> 	<p data-bbox="831 1617 1050 1818">Sendo utilizado para aterrar terrenos, junto com RCD. Próximo a nascentes.</p>	<p data-bbox="1086 1617 1455 1713">Alteração da qualidade da água, solo causando danos à saúde, à flora e à fauna.</p> <p data-bbox="1086 1751 1455 1848">Sulfato reage com aluminatos do cimento, gerando etringita.</p>

Manuseio da pasta de gesso	Falta de equipamento de proteção	Risco a saúde
		
Instalação do forro de gesso	Instalação sem equipamento de proteção	Risco a saúde
		
Gesso sendo lixado	Geração de material particulado	Alteração da qualidade do ar
		

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 21 apresenta a avaliação dos aspectos e impactos ambientais da disposição do resíduo de gesso e manuseio do gesso.

Quadro 21 - Avaliação dos aspectos e impactos ambientais da disposição do resíduo de gesso e manuseio do gesso.

IDENTIFICAÇÃO		AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS				
Aspecto	Impactos	Abrangencia	Severidade	Frequência	Impacto	Significância
Disposição em locais inapropriados	Contaminação do solo da água e ar.	4	3	2	9	S
Descarte próximo a rios	Contaminação Hídrica e do solo.	4	3	1	8	S
Descarte em locais impróprios	Ocupação de aterros (sanitário ou industrial)	4	4	4	12	S
Manuseio da pasta de gesso	Risco a saúde	2	1	1	4	N
Gesso sendo lixado	Alteração da qualidade do ar	2	2	4	8	S

Fonte: Elaborada pela autora.

O descarte em locais impróprios foi responsável pela ocorrência de severidade máxima, a contaminação hídrica e alteração da qualidade do ar foram avaliados com pontuação moderado. Porém não existe o controle da frequência que os resíduos são descartados próximo aos mananciais.

A disposição dos resíduos de gesso gerados nas atividades de construção foi regulamentada pela Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), em que o gesso era classificado como classe C, sem reciclagem e com tratamentos especiais devido a contaminação do solo e do lençol freático pela sua disposição final. Em 2011 o gesso passou a ser classificado pela Resolução 431 (CONAMA, 2011) como classe B, passando a ser considerado resíduo reciclável, portanto o gerador passou a ser o responsável pelo seu gerenciamento nas fases de coleta, segregação, transporte e destinação final.

No município de Mineiros-GO, a situação é totalmente diferente do que a legislação apresenta, os resíduos são dispostos junto com RCD, em lixões, em terrenos vagos próximos ao ponto de geração. Foi observado que não existe

fiscalização por parte do órgão ambiental do município e o local onde ocorre o descarte apresentou ser inadequado.

Pinheiro (2011) apresenta no (Quadro 22) os resíduos gerados durante as etapas de produção do gesso e seu beneficiamento, quanto a sua natureza, volume e impacto ambiental.

Quadro 22 - Geração de resíduos na cadeia produtiva do gesso.

<b>Fonte do Resíduo</b>	<b>Natureza</b>	<b>Volume estimado</b>	<b>Impactos ambientais</b>
Extração e preparo da matéria-prima	Material estéril minério impróprio ao uso material particulado	Ausência de dados	Poluentes atmosféricos contaminação do solo, contaminação do lençol freático, degradação ambiental
Processo de fabricação do gesso	Material particulado resíduo de varrição	10% a 15% de perda	Poluentes atmosféricos, contaminação do solo, contaminação do lençol freático, degradação ambiental
Produção de componente	Pasta de gesso hidratada peças danificadas	Chapas de gesso acartonado – 2,5% demais componentes – ausência de dados	Contaminação do solo, contaminação de lençol freático, degradação ambiental

Fonte: Pinheiro, 2011.

Com estas informações pode ser observado que a geração de resíduos e os impactos causados ao meio ambiente são provenientes desde o processo de extração da matéria prima ao processo de aplicação do gesso na construção civil. Embora sendo classificado como reciclável, a destinação final desse resíduo persiste em ser um problema para o setor da construção civil visto que existe a política nacional de resíduos sólidos, mas a mesma não é implantada no município.

#### **4.2.2 Segunda fase: Caracterização dos resíduos de gesso**

##### **4.2.2.1 Granulometria por peneiramento**

Através da distribuição granulométrica (Tabela 12) foi possível identificar a massa retida entre as peneiras.

Tabela 12 – Granulometria do resíduo de gesso e percentuais de massa retida

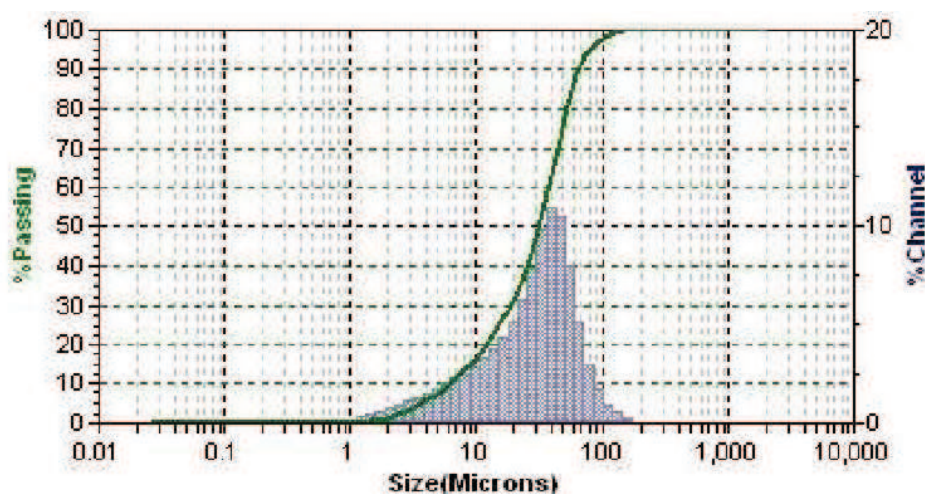
Peneiras	Valores médios	
	% retida	% retida acumulada
# 0,8400 mm	66,92	66,92
# 0,420 mm	9,43	76,35
# 0,210 mm	4,89	81,85
# 0,105 mm	6,41	87,66
Fundo	12,34	100,00

Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.2.2.2 Granulometria à laser

Por meio da análise de distribuição granulométrica (Figura 17) foi possível identificar o tamanho médio das partículas. Ao analisar o resultado, observou-se que o tamanho médio corresponde a 14,36  $\mu\text{m}$ .

Figura 17 - Curva de distribuição granulométrica



Fonte: Elaborada pela autora.

Na Figura 17 pode-se observar a curva de distribuição granulométrica, onde o gesso apresenta partículas com tamanhos variados. O tamanho médio da partícula está de acordo com o resultado do trabalho de diversos autores, entre eles:

- Pinheiro (2011) que no programa experimental de seu estudo analisou as características do resíduo de gesso, podendo ser observado na Tabela 13 a granulometria do resíduo.

Tabela 13 – Granulometria do resíduo de gesso apresentada por Pinheiro (2011)

Peneiras	Valores médios	
	% retida	% retida acumulada
# 0,840 mm	0,32	0,32
# 0,420 mm	2,24	2,55
# 0,210 mm	12,58	15,12
# 0,105 mm	9,54	24,66
fundo	75,34	100,00

Fonte: Pinheiro (2011).

Em sua análise quanto as propriedades físicas o resíduo de gesso de Pinheiro (2011) apresentou granulometria com diâmetro máximo de 0,420 mm; massa unitária de 470,65 kg/m<sup>3</sup>, massa específica de 2.300 kg/m<sup>3</sup>. Estas propriedades avaliadas são características do tipo de processo de moagem adotado.

#### 4.2.2.3 Teor de Umidade

As mostras de gesso apresentaram um teor de umidade baixa. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 14.

Tabela 14 – Teor de umidade

Amostra	Umidade da amostra (%)
01 - Gesso	0,62
02 - Gesso	0,66

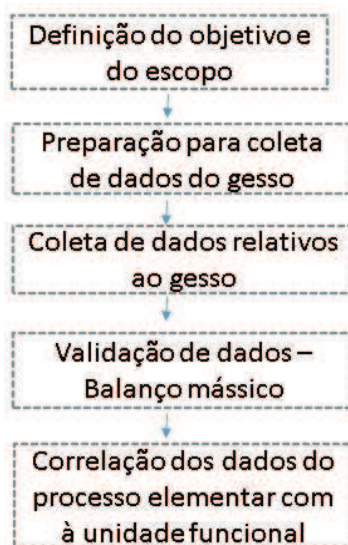
Fonte: Elaborada pela autora.

#### 4.3 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

A partir dos dados obtidos no canteiro de obras foi criado um fluxo referente a condução de uma análise de inventário adaptada da NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), conforme descrito na Figura 21.



Figura 18 - Condução da análise do inventário



Fonte: Adaptada da NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a).

A partir do fluxo apresentado na Figura 21 foi elaborada a seleção de dados de cada classe de atividade:

a) Definição do objetivo e do escopo:

- Diagnóstico do objeto de estudo: Experimentação em canteiro de obra residencial. Realizada a quantificação mássica das entradas e saídas de matéria-prima (gesso) e resíduos de gesso.
- Função: kg de gesso/m<sup>2</sup> de obra construída
- Objeto de estudo: Gesso
- Fronteira do sistema: Do canteiro de obra à disposição final.
- Unidade funcional: m<sup>2</sup> de obra construída.
- Procedimento de alocação: kg de gesso
- Categorias de impacto: Ocupação e contaminação do solo, contaminação do lençol freático, degradação do ambiente, toxicidade humana, mudanças climáticas.

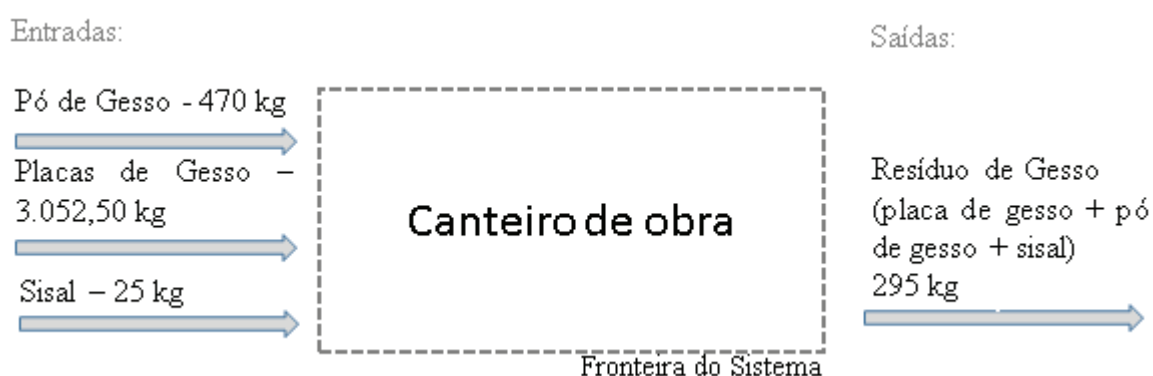
b) Preparação para coleta de dados do gesso

O procedimento para coleta dos dados foi através de medição – averiguação *in loco* e determinação do valor do dado através de equação.

c) Coleta de dados relativos ao gesso:

A etapa destinada ao levantamento de dados, consistiu em informações específicas da produção do forro de gesso, a qualidade dos dados e mensurada *in loco* para quantificar o controle de entrada e saída dos materiais, conforme descrito na Figura 22. Onde os dados seguem com a unidade de referência kg.

Figura 19 - Entradas e saídas da fronteira do sistema canteiro de obra



Fonte: Elaborada pela autora.

O resultado da quantidade de resíduo de gesso resultante da obra em estudo, foi obtido a partir da seguinte equação:

$$MP = \frac{M_{GPL} + M_{GPÓ} + M_{SI}}{A_{obra\ const.}} \quad (2)$$

Onde:

MP - Matéria-prima

M<sub>GPL</sub> - Massa placa de gesso

M<sub>GPÓ</sub> - Massa pó de gesso

M<sub>SI</sub> - Massa sisal

A<sub>obra const.</sub> - m<sup>2</sup> de obra construída

d) Validação de dados – Balanço mássico:

Para a validação dos dados obtidos nas etapas anteriores foi considerado os seguintes itens:

- Coleta dos dados primários quantitativos, que corresponde a quantidade de insumos, entradas e saídas mensuráveis.
- Os dados qualitativos, que inclui os fatores como o tempo de coleta das amostras.
- Os dados calculados.

e) Correlação dos dados do processo elementar com a unidade funcional:

Os dados de entrada e saída do processo elementar devem ser calculados em relação ao fluxo de referência. Nesta situação é relevante que os dados de entrada e saída estejam referenciados à unidade funcional.

Com base nos requisitos de qualidade de dados apresentados anteriormente, justifica-se para este estudo os dados apresentados a seguir no Quadro 23.

Quadro 23 – Índice de qualidade dos dados obtidos, baseado na metodologia de Weidema (1998)

<b>IQD</b>	<b>Pontos</b>	<b>Justificativa</b>
Confiabilidade	1	Dados utilizados foram coletados in loco.
Correlação temporal	1	Dados coletados no ano de 2018.
Correlação geográfica	1	Dados de uma área específica, obra residencial no município de Mineiros-GO.
Correlação tecnológica	1	Dados dos processos de uma obra específica.

Fonte: Garbin,2017 adaptado de Weidema, 1998.

#### 4.4 MUDANÇA DE CLASSE DO RESÍDUO DE GESSO

De acordo com a Resolução nº 469 (CONAMA, 2015) o resíduo de gesso se torna possível de reciclagem, reduzindo desta forma a quantidade de resíduos depositados em aterros. Evitando a contaminação do solo e dos recursos hídricos, além de reduzir o consumo de recursos naturais do gesso.

No Quadro 24 são apresentadas algumas soluções encontradas por pesquisadores relativas à reciclagem de resíduo de gesso. É possível assim,

evidenciar a viabilidade do ponto de vista técnico para a reutilização e reciclagem do resíduo de gesso.

Quadro 24 - Reciclagem do resíduo de gesso

<b>Autores</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Método</b>	<b>Conclusão</b>
Ahmed, Ugai, Kamei (2011)	Solo		Gesso reciclado foi usado como um agente estabilizador para melhorar a resistência à compressão do solo
Jhon e Cincotto (2003)	Agregados	Fabricação de agregados	Impossibilidade de reciclagem do resíduo de gesso presente no RCD, em virtude do sulfato presente, que reage com aluminatos do cimento, provocando sua fissuração.
Godinho-Castro et al. (2012)	Blocos cerâmicos	Confecção de blocos cerâmicos com diferentes proporções de argila e cimento adicionando-se resíduo de gesso.	Possibilidade de incorporar 20% de resíduos de gesso em blocos cerâmicos, mantendo as propriedades de blocos dentro de limites aceitáveis de acordo com as normas.
Geraldo et al. (2017)	Reboco de gesso	Múltiplos ciclos de desidratação / hidratação, analisando e comparando a respectiva composição por análise térmica, bem como comparando suas características mecânicas e físico-químicas após cada ciclo.	Este procedimento foi seguido para testar e avaliar como o processo de reciclagem altera o reboco de gesso reciclado resultante e a capacidade da reciclagem de gesso: a “reciclabilidade do gesso”.
Erbs et al. (2015)	Argamassa de gesso	Calcinação de resíduo de gesso acartonado, a 160, 180 e 200°C e períodos de queima 1, 2, 4, 8 e 24 h.	Viabilidade técnica do reaproveitamento, a temperaturas de queima 160 e 180°C, com tempo de queima de 4 horas.
Ferreira e Cruvinel (2014)	Cimento	Resíduo de gesso em substituição à gipsita natural	Possibilidade de reutilização do resíduo de gesso na fase final de moagem do clínquer, em substituição ao gesso natural para retardar a pega do cimento.
Suárez, Roca e Gasso (2016)	Cimento -	Análise do ciclo de vida da utilização do resíduo de gesso reciclado em substituição à gipsita natural na fabricação do cimento Análise do ciclo de vida e análise dos impactos ambientais do processo	O processo de reciclagem de gesso consome menos do que 66% da energia necessária para obtenção de gesso natural e emite menos de 65% dos gases de efeito estufa produzidos no processo de obtenção do gesso natural.

		de produção de cimento Portland, com adição de gesso natural comparada a da utilização do gesso reciclado.	
Santos et al. (2014)	Correção do solo	Uso de resíduo de gesso triturado e peneirado, na correção de um Neossolo flúvico salino-sódico.	Aplicação eficaz na lixiviação de sais de sódio e sódio solúvel de solo salino-sódico, sendo recomendada, como fonte de cálcio, para a recuperação da sodicidade.
Melo (2012)	Gesso	Calcinação de gipsita adicionado resíduo de gesso em um forno rotativo contínuo, em diferentes condições de pressão.	Melhores resultados médios do gesso obtido para proporção: 88% gipsita e 12% resíduo. 100% resíduo de gesso em alguns parâmetros se encontraram dentro da norma.
Pinheiro e Camarini (2015)	Gesso	Calcinação de resíduo de gesso à 150°C, por uma hora, ao longo de três ciclos de reciclagem sucessivas, após trituração.	O resíduo de gesso pode ser reciclado e re-reciclado diversas vezes para o mesmo fim. As amostras apresentam um nível elevado de sulfato de cálcio hemi-hidratado, característica esta que garante a propriedades de ligação do material reciclado, mantendo-se a principal característica a ser considerada semelhante a gesso comercial.
Trovão (2012)	Revestimento de alvenaria		Os ensaios indicam a viabilidade de adição de 5% de resíduo a pasta de gesso, quando associado a incorporação de aditivo retardador de pega.

Fonte: Adaptado Kochem (2016).

As soluções demonstradas anteriormente, indicam que os resíduos de gesso comum possuem propriedades físico-químicas compatíveis com a matéria-prima natural, o qual pode ser reaproveitado a partir de processos simples como moagem e recalcação. As potenciais aplicações dos resíduos de gesso após processo de reciclagem podem ser na produção de cimento, argamassa e correção do solo. (KOCHEM, 2016).

Pinheiro (2011) assegura que o resíduo de gesso pode ser reciclado por meio de um processo simples, devido as suas características químicas semelhantes ao seu processo industrial.

Geraldo et al. (2017), analisaram através de caracterizações que o processo de reciclagem do gesso não alterou as características químicas de novos produtos

mesmo após vários ciclos. Portanto, não existe diferenças significativas entre as composições do gesso comercial e do gesso reciclado. Ao qual analisaram o processo de reciclagem para verificar quantas vezes o resíduo de gesso pode ser reciclado sem alterar suas características. Concluindo que as fases principais do gesso reciclado não se alteram com o processo de reciclagem, podendo assim ser utilizado na fabricação de componentes de construção.

De acordo com Mendonça et al. (2016) a reciclagem é uma alternativa para minimizar os impactos negativos, visto que a sua disposição inadequada faz com que os sulfatos reagem com os materiais orgânicos e propicia a formação de gases tóxicos.

A obtenção do gesso reciclado apresenta necessidades de controle em alguns parâmetros tais como: umidade, granulometria e temperatura de reação, assim é possível apresentar as mesmas propriedades do gesso original. (MELO, 2012).

Portanto a reciclagem do resíduo de gesso é possível pela reversibilidade das reações de transformação da gipsita em gesso e do gesso em gesso di-hidratado, Pinheiro (2011).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da pesquisa de diagnóstico do resíduo de gesso gerado pela construção civil foi possível através do levantamento de dados, pelo qual foi realizada a quantificação de entradas e saídas de matéria-prima e resíduo de gesso. Obteve-se como resultado um parâmetro por m<sup>2</sup> de obra construída, chegando a um valor de 1,59 kg de resíduo de gesso por m<sup>2</sup> de obra construída.

Após análise realizada da disposição do resíduo de gesso gerado no município de Mineiros-GO, observou que a destinação final ocorre no lixão, sendo dispostos e misturados os resíduos de gesso com RCD (podendo estes resíduos ser classificados como classe A), também dispostos em terrenos vagos sendo estes próximos ao ponto de geração, causando impactos ambientais com alto grau de severidade. A busca por soluções ambientais a fim de minimizar os impactos ambientais pela disposição inadequada envolve os aspectos de correta destinação, reuso e reciclagem.

A falta do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos faz com que não tenha local adequado para receber o resíduo de gesso fazendo com que o gerador não seja responsabilizado pela destinação correta de seus resíduos.

A mudança de classe do gesso possibilita métodos de reciclagem, visando proporcionar benefícios de ordem ambiental, social e econômica. Uma das formas de reaproveitamento deste resíduo que se torna viável é o uso na correção do solo.

## REFERÊNCIAS

AGOPYAN, A. K. et al. Resíduos de gesso: desafios e oportunidades. In: Seminário Gestão e Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição - Avanços Recentes e Desafios Futuros 1. 2005. São Paulo: **Anais**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, 2005. p. 1-24.

AHMED, A.; UGAI, K.; KAMEI, T. Investigation of recycled gypsum in conjunction with waste plastic trays for ground improvement. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 208-217, 2011.

ANTUNES, R.P.N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

ARAÚJO, V. M. Práticas recomendadas para a gestão mais sustentável de canteiro de obras. São Paulo, 2009. 229 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – USP, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13867**: Revestimento interno de paredes e tetos com pastas de gesso. Rio de Janeiro: 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14001**: Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: 2004a.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: 2004b.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14041**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. Rio de Janeiro: 2004c.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004d.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: 2009a.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 16497**: Placa mineralizada de gesso para forro removível modular — Requisitos. Rio de Janeiro: 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 12127**: Gesso para a Construção Civil – Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro: 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 12130**: Gesso para a Construção Civil – Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro: 2017.



BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Chemical, mechanical and morphological characterization of gypsum obtained at Araripe, PE, Brazil. **Cerâmica**. São Paulo: v. 60, n. 356, p. 501-508, 2014.

BERNHOEFT, L. F.; GUSMÃO, A. D.; TAVARES, Y. V. P. **Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno**. Ambiente Construído, v.11, n.2, p.189 -199, 2011.

BRASIL. **Lei complementar nº 101 de 4 de maio de 2000**. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LCP/Lcp101.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp101.htm). Acesso em: 02 jul. 2018.

BRASIL. **Lei nº 10257 de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm). Acesso em: 02 jul. 2018.

BRASIL. **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/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 02 jul. 2018.

BRASIL. Presidência da República da Casa Civil. **Constituição da República Federativa do Brasil 1988**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocopilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocopilado.htm). Acesso em: 15 dez. 2018.

BRASILEIRO, L.L., MATOS, J.M.E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

CARTAXO, G. A. A. **Gerenciamento de resíduos da construção civil no município de Salvador - BA: Um novo cenário para o resíduo de gesso – A reciclagem**. Seminário de pesquisa, Escola politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA). 2011.

CARTAXO, G.A., FREITAS, I. M. D. P., ZANTA, V. M. **Análise do gerenciamento de resíduos de gesso no município de Salvador - BA**: In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXIII, 2013, Salvador. **Encontro**. Salvador: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2013, p. 1-15.

COELHO, A.; BRITO, J. Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 532-541. 2012.

CHEN, Z.; LI, H.; WONG, C. T. C. **Handbook of Corporate Sustainability: Frameworks, Strategies and Tools**. M.A Quaddus and M.A.S Siddique. 2006.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 15 dez. 2018.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 431** de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>. Acesso em: 15 dez. 2018.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 448** de 18 de janeiro de 2012. Altera os artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>. Acesso em: 11 abril. 2019.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 469**, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>. Acesso em: 11 abril. 2019.

CORREIA, C. C. CORDON, H. C. F. **Reciclagem do Gesso com Utilização de Micro-ondas no Processo de Desidratação**. 2014. Disponível em: <https://maua.br/files/012016/reciclagem-gesso-com-utilizacao-micro-ondas-processo-desidracao-081031.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2018.

DEMIRBAS, A. Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. **Energy Conversion and Management**. v. 52, n. 2, p. 1280-1287, 2011.

HUANG, T.; SHI, F.; TANIKAWA, H.; FEI, J.; HAN, J. Materials demand and environmental impact of buildings construction and demolition in China based on dynamic material flow analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 91-101. 2013.

ESTEVES, E. G. Z. FERRACIOLI, J.; CAMARA, M. R. G.; ZAPPAROLI, I. D.; **Inovação Tecnológica e Reciclagem de Resíduos da Construção Civil em Londrina-PR**, Brasil. 2013, Universidade Estadual de Londrina. Londrina: 2013.

FERNANDES, C. A. H. **Reciclagem de resíduos de gesso de construção para uso em revestimentos, placas de forro e molduras de acabamento**. 2016. Dissertação (Mestrado em 2016) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

FONSECA, A. S. Godinho. **Impactes Ambientais da Integração vs Eliminação de Resíduos de VFV**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.

FRANCISCO JUNIOR, F. S. **Análise Quantitativa Dos Resíduos de Gesso Oriundos de Obras da Construção Civil no Município de Fortaleza.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2009.

GARBIN, M., CHIARAMONTE, R.C., MORAES, C.A.M., MODOLO, R.C.E., **Colheita mecanizada do eucalipto para a produção de celulose na perspectiva da avaliação do ciclo de vida.** R. Latino-amer. Em Aval. Do Ciclo de Vida, Brasília, v. 1, n.1, p.86-111, jul./ dez. 2017.

GERALDO, R. H, PINHEIRO, S. M.M, SILVA, J.S, ANDRADE, H.M.C, DWECK, J, GONÇALVES, J.P, CAMARINI, G. Gypsum plaster waster recycling: A potential environmental and industrial solution. **Journal of cleaner production**, v. 164, p. 288-300, 2017.

IBICT. **Avaliação do Ciclo de Vida é uma das ações prioritárias do IBICT.** Disponível em: <http://acv.ibict.br/banco-nacional/o-que-e-sicv/>. Acesso em Janeiro, 2018.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Alternativas de gestão dos resíduos de gesso.** Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, p. 1-9, 2003. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

KOCHEM, K. **Potencialidades de logística reversa do resíduo de gesso da indústria da construção civil.** 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

LEVY, S. M. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. In: **Materiais Reciclados na Construção Civil.** São Paulo: IBRACON, 2007.

LIMA FILHO, H. J. B. **Tratamento dos resíduos de gesso da construção e da demolição – RCD para a produção de gesso beta reciclado.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2010.

MELO, D. C. P., **Processo de calcinação da gipsita/resíduo em um forno rotativo contínuo para a produção de gesso beta reciclável.** 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2012.

MENDONÇA, R.S., SANTOS, L.B., MOURA, A.E., Vasconcelos, E.C., SARUBBO, L.A., SANTOS, V.A., 2016. Optimisation of recyclable beta plaster using plaster waste in a continuous reactor with a mobile helical element. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, n. 15, p. 370-377, 2016.

MONTI, M. Obra sustentável: saiba mais sobre a reciclagem dos resíduos da construção civil. **Tera**, julho de 2014. Disponível em:

<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-teraambiental/obra-sustentavel-saiba-mais-sobre-a-reciclagem-dos-residuos-da-construcao-civil>. 2014. Acesso em: 05 mar.2017.

MORETTI, T.V., **Método de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida: Análise para casos brasileiros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

PASQUALI, Ísis Samara Ruschel, **ACV em auxílio ao gerenciamento ambiental dos resíduos sólidos de construção e demolição civil de Santa Maria/RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. **O gesso – produção e utilização na construção civil**. Recife: Bagaço, 2001. 94 p.

PINHEIRO, S. M. M. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2011.

PINHEIRO, S. M. M. **Em busca do gesso sustentável**. *Jornal da Unicamp*, dezembro de 2012. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/ju/550/em-busca-do-gesso-sustentavel>. Acesso em: Jan. 2019.

PUCCI, R. B. **Logística de resíduos da Construção Civil atendendo à Resolução CONAMA 307**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

RIVERO, A. J.; SATHRE, R.; NAVARRO, J. G. Life cycle energy and material flow implications of gypsum plasterboard recycling in the European Union. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 171-181, 2016.

RIBEIRO, A. S. **Estudo e otimização do processo de produção de gesso reciclado a partir de resíduos da construção civil**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2011.

RIGON, M. R.; ZORTEA, R.; MORAES, C. A. M.A.; MODOLO, R. C. E. **Suggestion of life cycle impact assessment methodology: Selection criteria for environmental impact categories**. In: Antonella Petrillo; Fabio De Felice. (Org.). *New Frontiers on Life Cycle Assessment - Theory and Application [Working Title]*. 1ed. London: Intechopen: IntechOpen, v. 1, p. 1-10, 2019.

RIGON, V.S. **Aspectos e impactos ambientais durante a fase de execução de uma obra residencial**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos São Leopoldo, 2013.

SAADE, M.R. M. **Influência da alocação de impactos na indústria siderúrgica sobre a avaliação de ciclo de vida de cimentos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. 2013.

SANTOS, P. M.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. S.; BARROS, M. F. C.; SILVA, E. F. F. Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 95-103. 2014.

SENES, C.E.R., LINDINO, C.A. Resíduos de gesso de construção civil: minimização e estudos de lixiviação. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 43-54, 2017.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. Z.; CARDOSO, A. C. F. **Gestão de resíduos da construção civil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2004. Florianópolis, 2004. **Anais** [...]. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

TRISTÃO, P. Reciclagem de entulho gera limpeza ambiental e economia social, 2015. **Centro de Produções Técnicas**. Disponível em: <http://www.cpt.com.br/cursos-meioambiente/artigos/reciclagem-de-entulho-gera-limpeza-ambiental-e-economia-social>. Acesso em: 07 jan. 2017.

WEIDEMA, BO. P. Multi-User Test of the Data Quality Matrix for Product Life Cycle Inventory Data. *Int. J. LCA* 3 (5) 25-265 (1998). Landsberg., Germany.

WIENS, I. K.; HAMANDA, J. **Gerenciamento de resíduos da construção civil – uma introdução à legislação e implantação**. In: XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006. Disponível em: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_13/artigos/374.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/374.pdf). Acesso em: 07 jan. 2017.

YOKOTE, A. Y. **Inventário de ciclo de vida da distribuição de energia elétrica no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade de São Paulo, 2003.

APÊNDICE A – GRANULOMETRIA À LASER

**LCVMat**

Selma Araujo  
AP640 AM226 Gesso

08/10/2018 20:28  
DB Rec: 17267

S3000/S3500  
S5386

10.6.1

Microtec, Inc.  
The Laser Solution

SOP Name: None(\*)

Distribution:	Volume	Run Time	20 Sec	Fluid:	WATER
Progression:	Standard	Route	Avg of 2	Fluid Ref Index:	1.333
Up Edge (um):	200	Particle	CURRENT PARTICLE	Above Residual:	0
Low Edge (um):	0.0215	Transparency	Transparent	Below Residual:	0
Residuals:	Disabled	Part. Ref. Index:	1.55	RMS Residual:	0.893%
#Channels:	88	Particle Shape	Irregular	Flow:	20 %
Analysis Mode:	S3000/S3500	Cell ID:	2031	Ultrasonic Power:	N/A
Filter:	Enabled	Multi Run Delay:	0 Min.	Ultrasonic Time:	N/A
DB Record:	17267	Recalc Status:	Original	Serial Number:	S5386
Analysis Gain:	Default(2)	Database:	C:\Program Files\Microtec FLK 10.6.1\Database\Analysis via Lmida.W2B		

**Summary**

Data	Value
MV(um):	34.56
MN(um):	2.333
MA(um):	14.36
CS:	418E-01
SD:	20.31
Mz:	32.41
wt:	25.13
Sk:	0.1557
Kg:	0.957

**Peak Summary**

Dia(mm)	Vol%	Width
31.62	100.0	46.61

**Size %**

Size (um)	%Tile
10.00	6.11
20.00	11.96
30.00	18.60
40.00	25.36
50.00	31.62
60.00	37.59
70.00	44.00
80.00	51.90
90.00	64.98
95.00	79.37

%Passing

%Channel

Anostra direta, irregular, transparente, fluxo 20%, IR 1.55

Warnings: NONE