



# UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

RICARDO CALHEIROS SOARES

REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM DE CIMENTO  
PORTLAND NA PRODUÇÃO DE VERGAS  
PRÉ-FABRICADAS PARA ALVENARIA  
NÃO ESTRUTURAL

**PEI**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial

**SALVADOR  
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
INDUSTRIAL**

**RICARDO CALHEIROS SOARES**

**REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM DE CIMENTO  
PORTLAND NA PRODUÇÃO DE VERGAS PRÉ-  
FABRICADAS PARA ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL**

Salvador  
2018

**RICARDO CALHEIROS SOARES**

**REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM DE CIMENTO  
PORTLAND NA PRODUÇÃO DE VERGAS PRÉ-  
FABRICADAS PARA ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientadores:

Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosana Lopes  
Fialho

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ava Santana  
Barbosa

Salvador  
2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Soares, Ricardo Calheiros

REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM DE CIMENTO PORTLAND  
NA PRODUÇÃO DE VERGAS PRÑ- FABRICADAS PARA ALVENARIA  
NÃO ESTRUTURAL / Ricardo Calheiros Soares. --  
Salvador, 2018.  
88 f.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosana Lopes Fialho.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Ava Santana Barbosa.

Dissertação (Mestrado - PEI - Programa de P+s-  
Graduação em Engenharia Industrial) -- Universidade  
Federal da Bahia, Universidade Federal da Bahia -  
Escola Politécnica, 2018.

1. Papel kraft. 2. reciclagem. 3. resíduos sólidos.  
4. sustentabilidade. I. Fialho, Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosana  
Lopes. II. Barbosa, Prof<sup>a</sup>. Dra. Ava Santana. III.  
Título.

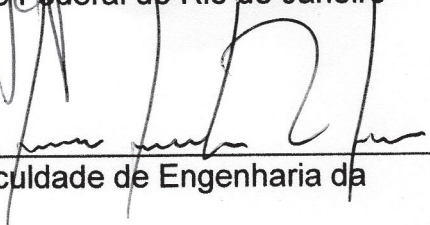
# “REAPROVEITAMENTO DA EMBALAGEM DE CIMENTO PORTLAND NA PRODUÇÃO DE VERGAS PRÉ-FABRICADAS PARA ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL”.

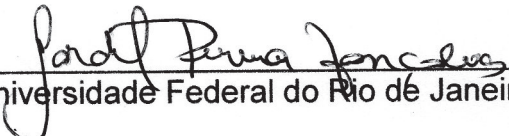
RICARDO CALHEIROS SOARES

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dra. Rosana Lopes Lima Fialho   
Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Brasil, 1998.

Prof. Dr. Francisco Gaudêncio Mendonça Freires   
Doutor em Engenharia e Gestão Industrial pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Portugal, 2007.

Prof. Dr. Jardel Pereira Gonçalves   
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil, 2005.

Salvador, BA - BRASIL  
Junho /2018

Banca Examinadora:

---

Jardel Pereira Gonçalves

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil.

Universidade Federal da Bahia

---

Francisco Gaudêncio Mendonça Freires

Doutor em Engenharia e Gestão Industrial pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Portugal.

Universidade Federal da Bahia

A

Todos geradores de resíduos de obras que se deparam com a dificuldade da destinação das embalagens dos afamados “sacos de cimento”.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Rosana Fialho por ter acreditado no projeto, pela dedicação, orientações, paciência, compreensão em busca desta conquista e a observância do projeto como uma oportunidade de trabalhos futuros. Obrigado pela experiência passada e pelos conselhos.

A minha co-orientadora Dr<sup>a</sup> Ava Barbosa pelo apoio inicial na crença deste projeto, pela qualidade nas orientações acadêmicas, pelas revisões de trabalhos, pelos questionamentos feitos durante o desenvolvimento da pesquisa e por abrir caminho para a parceria com a Dr<sup>a</sup> Rosana Fialho.

Ao corpo técnico do Departamento de Estruturas pelo atendimento às solicitações da Dr<sup>a</sup> Rosana Fialho para realização de ensaios e apoio técnico no projeto, publicações e pelas repostas dadas durante o desenvolvimento das produções.

Aos professores do PEI pela dedicação aos propósitos da Escola Politécnica da UFBA e por ampliarem meus conhecimentos, onde de alguma forma contribuíram com a realização da minha formação e deste projeto.

A Tatiane Reis e ao professor Dr. Cristiano Hora, ambos do PEI, pelos esclarecimentos quanto às normas do mestrado, respondendo e-mails e telefonemas com nobreza.

Ao bolsista Otacísio Teixeira, do Laboratório de Estruturas, pelo apoio dado durante as realizações dos ensaios.

Aos colegas de mestrado pelo companheirismo nos estudos e aprendizado.

A todos ligados à Escola Politécnica, que de forma direta ou indireta contribuíram com a minha formação e que zelam pela qualidade do funcionamento da instituição.

Ao IFAL pelos recursos disponibilizados para concretização desse projeto.



A empresa Premol por aceitar a adaptação feita na sua produção para a fabricação dos modelos que foram estudados e por passar todas as informações quando foram solicitadas.

Ao meu sobrinho Luiz Felipe pelo apoio nas ilustrações apresentadas nesta dissertação.

A Deus e aos meus familiares, grandes motivadores e razão maior da minha vida.

Aos grandes amigos, por entenderem meu afastamento e incentivarem bastante, colaborando quando houve necessidade.

Muito obrigado a todos por possibilitarem o meu crescimento profissional e pessoal.

SOARES, R. C. Reaproveitamento da embalagem de cimento Portland na produção de vergas pré-fabricadas para alvenaria não estrutural. 90 f. il. 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia que visa minimizar o impacto ambiental e o custo causado pela disposição das embalagens de cimento Portland, através da reutilização das mesmas na produção de vergas de concreto armado, elementos estruturais que funcionam como pequenas vigas para dar estabilidade aos vãos das alvenarias (principalmente vãos de portas e janelas). É proposta a produção de vergas de concreto armado com o uso direto de sacos de cimento como parte da estrutura das mesmas, e também, a partir do material tratado e triturado na matriz do concreto. Misturas de concreto foram produzidas contendo os sacos de cimento e avaliadas em relação às propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Foram produzidas e expostas à cura as vergas de concreto armado contendo sacos de cimento na região da linha neutra, assim como teores de embalagem triturada na dosagem do concreto. Após a cura, o desempenho mecânico das vergas foi avaliado através do ensaio de resistência à tração na flexão, onde atenderam as solicitações simuladas. Os resultados obtidos demonstram que o uso de embalagens de cimento para produção de vergas pode ser uma alternativa viável para a destinação adequada daquelas dispostas em canteiros de obras.

Palavras-chave: Papel kraft, reciclagem, resíduos sólidos, sustentabilidade

## **ABSTRACT**

This work presents a method to minimize the environmental impact and costs caused by the disposal of Portland cement packages by reusing them in the production of pre-cast, reinforced concrete beams. These beams are structural elements used to provide stability to masonry spans (mainly door and window spans). It is proposed the production of reinforced concrete beams making direct use of discarded cement sacks and also by using shredded packages as part of the structure for the concrete matrix (mix). Concrete mixtures were produced by using the cement bags and were evaluated for its physical properties when fresh and hardened. Reinforced concrete beams were produced by using cement sacks in the region of the neutral line. It was also used shredded packaging content in the concrete dosage. Then, the beams went through a curing process. After curing, the mechanical performance of the beams were evaluated through a tensile strength test while flexing, where they met the simulated requirements. The results demonstrated that the use of cement packaging for beam production is a viable alternative for the disposal of sacks after its usage on construction sites.

Keywords: Kraft paper, recycling, solid waste, sustainability

## LISTA DE FIGURAS

7	-	h	
7	°		
7	7		h
7	h		
7	-		
7	7	h	B °O
7	7		
7	7		
7	#		
7	#		
7	#		
7	-	h	
7	#		
7	#		
7	-		
7	h		
7	o		
7	)	U	7
7	°		
7	)	U	7
7	U		
7	-		<i>in loco</i>
7	#		
7	†		
7	†		
7	-		
7	-		
7	°		
7	†		
7	†	@	
7	°	@	
7	†	@	
7	°	@	
7	†	@	
7	°	@	
7	†		
7	†		





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### A

---

ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANAP	Associação Nacional dos Aparistas de Papel

### C

---

CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CP II - E 32	Cimento Protland composto de escória
CP II - Z 32	Cimento Protland composto com pozolana

### I



---

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IFAL	Instituto Federal de Alagoas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>

**L**

---

LN	Linha Neutra
----	--------------

**N**

---

NBR	Norma Brasileira
NM	Norma do Mercosul

**P**

---

PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
PET	Polietileno Tereftalato
PEI	Programa de Engenharia Industrial
PIB	Produto Interno Bruto

PGIRS *Programa de Gestão Integral de Resíduos Sólidos*

PGRCC Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil

**R**

---

RCC Resíduos de Construção Civil

**S**

---

SIAC Sistema de Avaliação da Conformidade

SISNAMA Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNIC Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SINDUSCON Sindicato da Indústria da Construção Civil

SINAPI Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

**U**

---

UFBA Universidade Federal da Bahia

UFG Universidade Federal de Goiás

## LISTA DE SIMBOLOS

pH	potencial Hidrogeniônico
t	Toneladas
W	Watts
Hz	Hertz
°C	Graus Celsius
mm	Milímetros
MPa	Mega pascal
g	Gramas
KN	Quilonewtons
m	Metro
Ø	Diâmetro
h	Altura
CA 50	Categoria de aço de 500MPa
Kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
N/m	Newtons por metro
N.m	Newtons vezes metro
N	Newtons
µm	Micrômetro
Pa	Pascal

L	Largura
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
”	Polegadas
s	Segundos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1 Contextualização.....	21
1.2 Justificativa.....	23
1.3 Planejamento e projeto da pesquisa.....	27
1.4 Objetivos .....	29
1.4.1 Geral.....	29
1.4.2 Específicos .....	29
1.5 Estrutura da Dissertação .....	29
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>31</b>
2.1 Gestão de resíduos da construção civil .....	31
2.2 Critérios para o material em estudo.....	37
2.3 Pesquisas similares ao trabalho proposto .....	39
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1 Produção das fibras a partir das embalagens.....	42
3.2 Referência para produção do concreto para os modelos de vergas .....	42
3.3 Estudo da dosagem dos concretos.....	44
3.4 Elaboração dos modelos e preparo das vergas.....	46
3.5 Proposta do método de ensaio para as vergas .....	50
3.6 Aplicação <i>in loco</i> .....	53
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>58</b>
4.1 Avaliação do desempenho dos concretos (corpos de prova).....	58
4.2 Avaliação do comportamento das vergas .....	60
4.3 Avaliação da aplicação <i>in loco</i> .....	65
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>82</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

A construção civil no Brasil é uma das esferas de maior potencial econômico. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2015), o setor representa cerca de 5,7% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, aproximadamente 7,4% do total de pessoas empregadas e quase 23% de tudo que é produzido pela indústria brasileira.

Um dos setores mais tradicionais é o da indústria de pré-fabricados, a qual abrange a fabricação de nervuras, blocos, cobogós, vergas, dentre outros. Segundo a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC, 2016), a indústria de pré-fabricados é a que mais cresce no país, em comparação com os outros subsetores da construção. Ela representa 1,4% do total de empregados no setor e também produziu cerca de 904.570 metros cúbicos de concreto de acordo com os dados anuais mais recentes.

Em compensação, esse alto índice de atividade leva à geração de diversos impactos ambientais nas diversas situações da cadeia produtiva, sobretudo o consumo de recursos como por exemplo: água, areia e brita. O Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2015) estima que, em 2014, o Brasil consumiu cerca de 673 milhões de toneladas de agregados para construção. O consumo de recursos naturais acaba também gerando resíduos sólidos. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017), foram geradas cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos oriundos da construção civil no Brasil em 2016.

Os números de resíduos gerados não são tão precisos de modo que identifiquem os tipos descartados sem opção de reutilização, sendo exemplo algumas embalagens.

As embalagens de cimento Portland, também conhecidos como sacos de cimento, são produzidas a partir do papel Kraft, que suporta a alta temperatura de saída dos diversos tipos de cimento no processo de ensacamento, garantindo também a proteção e identificação do produto.

Os sacos de cimento usados são resíduos perigosos (ABRECON, 2014) e sua disposição inadequada polui o meio ambiente. Entre outros problemas, o cimento Portland encontrado como resíduo em suas embalagens, quando em contato com água, libera hidróxido de cálcio, elevando a alcalinidade, podendo elevar o pH acima

de 12,5 oferecendo riscos para a saúde humana (ABCP, 2017). Estas características elevam as embalagens como contaminadas de acordo com a ABNT NBR 10004:2004, que em seu requisito 3.2 define:

[...] periculosidade de um resíduo: Característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

As informações atuais da Associação Nacional dos Aparistas de Papel (ANAP, 2017) indicam que 63% do papel produzido no Brasil tem como destino a produção de embalagens - neste contexto se enquadram os sacos de cimento, que, por serem contaminados, não são reciclados.

Após consumo, as embalagens de cimento Portland são descartadas em grandes volumes e a incineração térmica tem sido a alternativa mais adequada para o tratamento dos resíduos como opção de fim de processo, já que não há viabilidade técnica para reutilização de embalagens na produção de novos sacos. Segundo Viera (2012), os projetos para incineração são altamente customizados, estabelecendo-se o impacto ambiental no decorrer do processo dependendo de cada tipo de resíduo.

Existem outras opções que melhor podem resolver o problema destas embalagens como alternativa de reutilização, sendo neste contexto algumas soluções já estudadas, como: a adição de polpa celulósica Kraft, como reforço em cimento, que está sendo desenvolvida por vários grupos de pesquisa, como por exemplo a produção de argamassa com fibras de papel Kraft desenvolvida na Universidade Federal de Goiás (SANTOS e CARVALHO, 2011) e as placas compostas das fibras avaliadas na *Conventry University*, no Reino Unido (KHORAMI *et al*, 2013).

A produção de pré-fabricados, como as vergas pré-moldadas, gera resíduos que podem ser oriundos do próprio processo produtivo ou derivados de materiais, como as embalagens dos sacos de cimento Portland. Nesse contexto, a fim de obter dados que auxiliem a promoção de técnicas de gerenciamento das embalagens descartadas, faz-se necessário investigar as possibilidades de uso desses subprodutos após o seu beneficiamento.

Uma das soluções é a busca de tecnologias para redução de materiais nas peças de concreto e o reaproveitamento de subproduto, estabelecendo assim um sistema de gestão. De acordo com Nagalli (2014), o sistema de gestão de resíduos tem como

objetivo reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo o planejamento, as responsabilidades, as práticas, os procedimentos, os recursos necessários e o replanejamento para desenvolver e gerenciar as ações dos planos.

## 1.2 Justificativa

Em muitos países, a quantidade de cimento Portland comercializado em embalagens de papel Kraft é significativo e o destino dos afamados sacos de cimento usados é considerado um problema para as Associações de Produtores de Cimento (MÁRMOL *et al*, 2013).

Segundo o Relatório Anual mais recente do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2013) desde o início da década de 1970 o Brasil consome de forma crescente mais de 10 milhões de toneladas de cimento Portland por ano, ultrapassando 40 milhões nos anos 1990 e aos 60 milhões nos anos 2010.

Somente com o menor dado registrado, que é de 1965, o Brasil consumiu o equivalente a mais de 100 milhões de sacos de cimento de 50kg. O Relatório indica ainda que o Brasil aparece como o 5º maior produtor de cimento Portland no mundo, sendo o maior da América Latina em 2012, dados apresentados na Tabela 1.1.

**Tabela 1.1** - Maiores produtores de Cimento Portland no mundo em 2012

Países	Produção (milhões de toneladas)
1. China	2 137,0
2. Índia	270,0
3. Estados Unidos	74,2
4. Irã	70,0
<b>5. Brasil</b>	<b>68,8</b>
6. Turquia	63,8
7. Japão	63,6
8. Rússia	61,5
9. Vietnã	60,0
10. Indonésia	53,5
11. Coréia do Sul	46,9
12. Egito	46,1
13. Arábia Saudita	43,0
14. México	36,2
15. Alemanha	32,4

Fonte: SNIC (2013)



Dados preliminares mais recentes do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2017), apontam que o Brasil consumiu o equivalente a mais de meio bilhão de sacos de cimento de 50Kg somente no primeiro semestre de 2017. Os dados indicam ainda que o Estado da Bahia é o maior consumidor de cimento do Nordeste e o 4º maior do Brasil no mesmo período, conforme apresentado na Tabela 1.2.

**Tabela 1.2-** Consumo de cimento por regiões e estados do Brasil (t) 2017

<b>REGIÕES E ESTADOS</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Região Norte</b>							
Rondônia	29.927	29.820	31.566	29.695	33.733	37.063	<b>191.804</b>
Acre	10.582	9.213	9.677	10.306	14.561	13.350	<b>67.689</b>
Amazonas	63.570	45.782	64.561	32.659	61.431	82.728	<b>350.731</b>
Roraima	9.038	7.007	8.634	8.692	8.181	11.281	<b>52.833</b>
Pará	142.513	122.496	137.585	123.671	136.929	141.239	<b>804.433</b>
Amapá	13.326	8.946	11.996	10.482	11.374	14.593	<b>70.717</b>
Tocantins	43.978	35.052	42.860	37.707	46.198	42.970	<b>248.765</b>
<b>Região Nordeste</b>							
Maranhão	90.524	68.881	81.021	70.216	86.131	88.722	<b>485.495</b>
Piauí	75.275	56.828	72.156	61.539	74.147	73.140	<b>413.085</b>
Ceará	187.396	137.442	154.522	128.462	164.937	171.954	<b>944.713</b>
Rio Grande do Norte	59.161	53.897	64.284	50.923	56.705	51.972	<b>336.942</b>
Paraíba	71.979	59.942	74.439	60.457	65.650	64.820	<b>397.287</b>
Pernambuco	180.205	145.242	190.081	145.523	149.614	135.727	<b>946.392</b>
Alagoas	38.900	32.497	42.113	32.217	28.646	22.802	<b>197.175</b>
Sergipe	44.575	37.804	48.241	38.563	40.601	34.278	<b>244.062</b>
<b>Bahia</b>	<b>273.644</b>	<b>214.850</b>	<b>287.522</b>	<b>221.689</b>	<b>268.524</b>	<b>242.299</b>	<b>1.508.528</b>
<b>Região Centro-oeste</b>							
Mato Grosso do Sul	73.279	66.462	79.514	63.281	77.205	71.168	<b>430.909</b>
Mato Grosso	83.214	65.356	90.401	83.272	107.282	105.460	<b>534.985</b>
Goiás	168.182	146.310	191.374	164.318	211.049	198.789	<b>1.080.022</b>
Distrito Federal	45.454	35.599	49.981	39.881	48.598	49.492	<b>269.005</b>
<b>Região Suldeste</b>							
Minas Gerais	391.204	339.223	420.419	388.410	391.503	410.196	<b>2.340.955</b>
Espírito Santo	102.843	80.473	108.220	90.413	92.894	87.933	<b>562.776</b>
Rio de Janeiro	200.096	178.273	210.982	185.074	189.911	183.913	<b>1.148.249</b>
São Paulo	730.977	759.191	924.912	758.367	873.780	846.264	<b>4.893.491</b>
<b>Região Sul</b>							
Paraná	311.635	280.736	352.332	280.856	319.397	295.932	<b>1.840.888</b>
Santa Catarina	220.479	211.861	258.760	211.393	249.531	108.865	<b>1.260.889</b>
Rio Grande do Sul	218.098	196.675	251.395	199.081	220.793	211.546	<b>1.297.588</b>

Fonte: SNIC (2017)

Esta última pesquisa indica que o Estado consumiu 1.508.528 toneladas – se todo este material fosse consumido em sacos de 50kg, que é de fato em sua maioria, seriam descartadas mais de 30 milhões de embalagens somente nos seis primeiros meses de 2017. Vale salientar que o cimento Portland também pode ser comercializado a granel, como também nas embalagens de menores capacidades. Há tentativas de reaproveitar ou fazer logística reversa destas embalagens. Os construtores e fábricas de cimento Portland aderentes de algum Sistema de Gestão Ambiental, como por exemplo o da norma ABNT NBR ISO 14001:2015, buscam alternativas para minimizar seus impactos ambientais, separando as embalagens descartadas para destinação mais adequada, conforme apresentado na Figura 1.1

**Figura 1.1** - Embalagens de cimento Portland descartadas em canteiro de obra

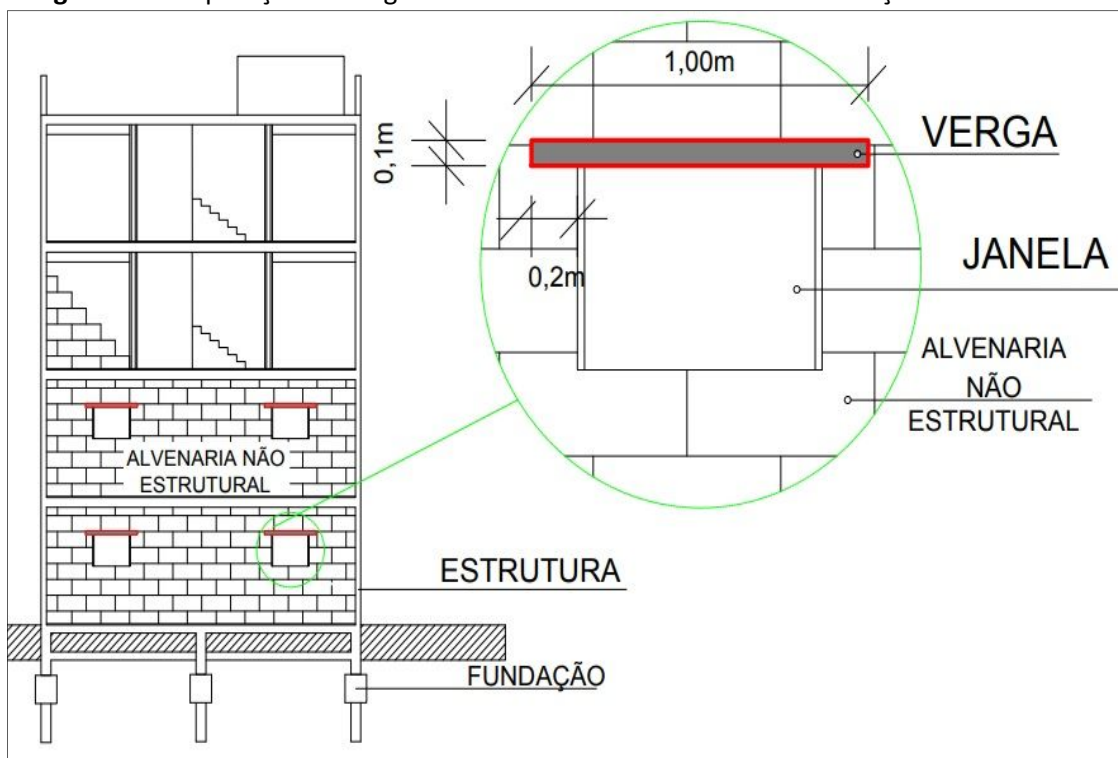


**Fonte:** o Autor (2015)

O papel das embalagens pode se decompor relativamente rápido, porém, o problema é o resíduo de cimento Portland presente no papel, considerando os compostos dos vários tipos de cimento, sendo um exemplo a presença de metais pesados (BRITO; SOARES, 2009), podendo contaminar o solo e o lençol freático, dentre outras consequências.

Há consumo de cimento Portland na maioria dos processos da construção civil, desde os serviços preliminares até as atividades de pós-obra, gerando embalagens contaminadas. Um tipo de atividade típica da construção civil é a construção de edifícios, a qual contempla os processos de: execução de fundações, superestrutura de concreto armado, vedações verticais e horizontais, acabamentos, dentre outros. Nas vedações verticais, a alvenaria não estrutural tem como função básica a vedação (ou fechamento), enquanto que a alvenaria estrutural substitui dois principais sistemas de uma construção: a estrutura de concreto armado e os fechamentos de alvenaria. As vergas podem ser elementos de concreto armado que funcionam como vigas e é comum sua produção *in loco* nos canteiros de obras. Normalmente, o descarte das embalagens de cimento Portland ocorre tanto na execução das vedações como também na produção de vergas, que podem ser usadas em ambos os tipos de vedações. A Figura 1.2 ilustra a construção de um edifício, onde é executada alvenaria não estrutural e são empregadas vergas nos vãos de janelas.

**Figura 1.2** – Aplicação de verga em alvenaria não estrutural na construção de um edifício



Fonte: o Autor (2018)

Na realidade, a principal função de uma verga na alvenaria não estrutural é oferecer estabilidade ao vão de portas e janelas, principalmente evitando fissuras e emperramento das esquadrias, que são patologias típicas às suas solicitações.

A ABNT NBR 8545:1984 estabelece que os vãos de portas e janelas devem ser moldadas ou colocadas vergas, sendo que elas devem exceder a largura do vão de pelo menos 20cm de cada lado e devem ter altura mínima de 10cm (ABNT, 1984). Seria possível destinar as embalagens de cimento na fabricação de vergas, reduzindo o consumo de materiais? A ideia que originou a pesquisa foi verificar a reutilização da embalagem na composição do concreto, assim como na parte interna da armadura.

### **1.3 Planejamento e projeto da pesquisa**

As universidades devem ser reconhecidas como instituições que desempenham importantes papéis para o desenvolvimento humano, regional e sustentável na sociedade e componentes curriculares que abordem esses temas devem ser considerados, inclusive no estudo de desenvolvimento de materiais.

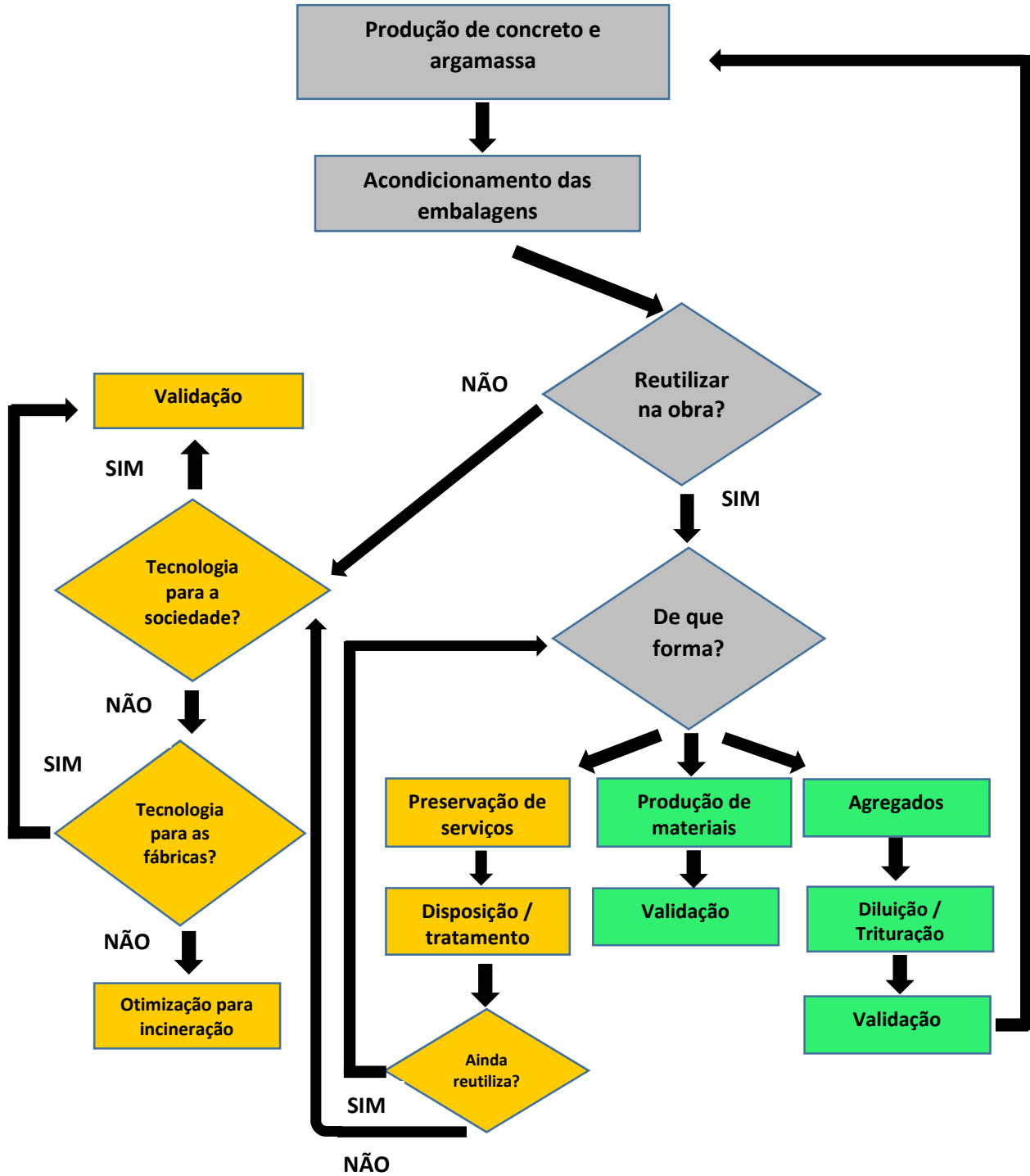
Desta forma, o presente estudo foi proposto com o objetivo de buscar alternativas viáveis para o reaproveitamento dos sacos de cimento descartados pela construção civil. Neste contexto, é proposto um conjunto de alternativas, ilustrado no fluxograma da Figura 1.3, que está sendo desenvolvido pelo grupo da UFBA, com apoio do Laboratório de Construção e Estruturas e do Laboratório de Polímeros e Bioprocessos.

Considerando que os sacos de cimento Portland são apropriados para consumo nas centrais de concreto e argamassa das obras, foi montada uma estruturação que visa mapear a possibilidade de reuso das embalagens.

São estudos atuais as validações de concreto obtido através da trituração das embalagens de cimento Portland para uso na substituição de agregados naturais, assim como a abordagem da validação de vergas pré-moldadas para alvenaria não estrutural, que consomem as embalagens, buscando a reutilização do resíduo, transformando-o em material de construção.

Neste estudo, especificamente, são abordadas a reutilização das embalagens como fibra na composição do concreto e a utilização das mesmas retorcidas como parte da estrutura de vergas pré-fabricadas.

Figura 1.3- Fluxograma para busca de excelência na gestão de embalagens de cimento Portland



**LEGENDA:**

- Logística para reuso das embalagens
- Planejamento para identificação de metodologias
- Metodologias em estudo

Fonte: o Autor (2016)

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Geral

Propor alternativas para o reaproveitamento das embalagens de cimento Portland na produção de vergas pré-fabricadas.

### 1.4.2 Específicos

Como forma de alcançar o objetivo proposto, são desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a disposição de embalagens de cimento Portland como resíduos sólidos de construção;
- Identificar oportunidade de reaproveitamento destas embalagens;
- Estabelecer os métodos para reutilização das embalagens na produção de vergas pré-fabricadas;
- Simular a eficácia e eficiência em uma situação real, medindo o desempenho em relação à resistência e ao deslocamento na flexão no laboratório e na aplicação *in loco*.

## 1.5 Estrutura da Dissertação

A pesquisa se caracteriza como qualitativa e quantitativa, onde é abordada uma situação comum nos canteiros de obras. Assim, o presente estudo está dividido em 4 capítulos. O primeiro deles apresenta a contextualização, justificativa, problemática em questão, planejamento do projeto de pesquisa, objetivo geral / específicos e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 trata da fundamentação teórica: gestão sustentável de resíduos de construção civil (RCC), critérios para o material em estudo e estudos semelhantes à pesquisa proposta. São analisadas referências nacionais e internacionais relativas aos assuntos. São também citadas normas típicas que serão implementadas ao decorrer da dissertação, assim como o subproduto da construção civil e seus grandes impactos, sobretudo o uso de vergas.

O capítulo 3 aborda os procedimentos metodológicos, recursos e materiais adotados, explicitando-se as características dos mesmos, as referências, os tipos de equipamentos, os conceitos e as normas técnicas para assegurar a eficácia dos métodos. Estabelece ainda os tipos de vergas utilizadas para os respectivos ensaios. É definido que os materiais e métodos para obtenção das fibras de papel tiveram como base, por exemplo, as recomendações propostas por Santos e Carvalho (2011), enquanto a ocupação da parte interna da verga por subproduto deteve como influência o trabalho de Cavalcante (2016), estabelecendo uma metodologia para reuso das embalagens na composição do concreto e na parte interna das vergas. Há também o planejamento de uma demonstração *in loco* da aplicação de tipo de vergas através de um projeto elaborado.

No capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios laboratoriais e também são tecidos comentários a respeito dos mesmos. O concreto é verificado no estado fresco e endurecido. Há também os resultados dos tipos das vergas estudadas e é apresentada ainda a situação parcial do material validado na aplicação *in loco*.

No capítulo 5, que é a conclusão, é analisada a viabilidade do uso das embalagens de cimento Portland em vergas pré-fabricadas para a situação verificada, avaliando os objetivos planejados. São apresentados também os possíveis ganhos com a implementação do método, assim como as propostas de novos estudos.

Em seguida são descritas as referências utilizadas na pesquisa e apêndices.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Gestão de resíduos da construção civil

Dados mais recentes da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017) informam que aproximadamente 39% dos resíduos sólidos gerados no Brasil em 2016 foram oriundos da construção civil. Os dados não indicam as partes reaproveitadas de forma sustentável.

Resíduos de Construção Civil (RCC), segundo as definições da ABNT NBR 15113:2004, são resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, comumente chamados de entulhos de obras ou metralha.

Apesar da gestão de RCC trazer benefícios eficazes, ainda não existe, no Brasil, referência normativa para a utilização de RCC em concreto, por exemplo. Nos centros urbanos de países, como Reino Unido, Holanda e Alemanha, as leis municipais estabelecem percentuais mínimos de agregados reciclados para uso em concretos estruturais, desde que o resíduo contenha no mínimo 90% de concreto e argamassa em sua composição (SILVA *et al.*, 2016). Na Dinamarca e na Holanda, segundo Soares *et al.* (2014), a taxa de reciclagem de resíduos de construção é elevada, chegando a 90%.

Na Austrália, o gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil tem evoluído nos últimos anos e a quantidade de RCC aumenta a cada ano (LI *et al.*, 2013). Os resíduos de construção gerados no Canadá representam 27% dos resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários (YEHEYIS *et al.*, 2013).

Já na Alemanha, a geração de RCC permanece constante ao longo de muitos anos apesar do crescimento econômico contínuo (LI *et al.*, 2013). Em Hong Kong, no ano de 2011, foram depositados em aterros 1.215.940 toneladas de resíduos de construção civil (LU e TAM, 2013).

No Japão, país que enfrenta dificuldades com a disposição dos seus resíduos devido a sua limitada extensão territorial, divide os resíduos sólidos em duas categorias: industrial ou municipal, onde ambas possuem mais de 20 subcategorias, sendo que aproximadamente 1/5 dos resíduos de cada categoria são provenientes da construção civil (NAKAMURA, 2007).

No cenário internacional, sabe-se ainda que a produção de cimento Portland consome



os recursos naturais que são esgotáveis e os resíduos desta produção acabam também afetando o meio ambiente. Entre tantas ações de sustentabilidade para mitigar o consumo e prevenir a poluição, não é conhecida uma sistemática comum aplicável para todos os países para gerenciar a destinação das embalagens de cimento de modo que assegure a eficácia econômica e ambiental. A PCA (*Portland Cement Association*), que é uma das principais porta-vozes de cimento no mundo, desenvolveu em 2006 uma avaliação do ciclo de vida do cimento Portland com o título de *Life Cycle Inventory of Portland Cement Manufacture*, a qual identifica o impacto causado nas várias etapas de produção (PCA, 2006), mas não oferece uma opção efetiva para a destinação das embalagens de cimento Portland.

Hoje, existem cinquenta tipos de resíduos sólidos provenientes da construção civil com destinação classificada, sendo o papelão contaminado com cimento e argamassa o único sem destino de reaproveitamento ou reciclagem (CUNHA JUNIOR, 2005) – até hoje esta afirmação pode ser considerada relevante.

ADDIS (2006) afirma que devem ser desenvolvidas tecnologias para o reaproveitamento de resíduos de construção na própria execução dos serviços de construção civil. Isto significa que pode ser interessante a viabilidade do reuso das embalagens de cimento Portland na própria frente de uso, como por exemplo na produção de concreto e até mesmo de vergas pré-moldadas.

No Brasil, a legislação ambiental é um dos principais instrumentos para a gestão dos resíduos sólidos. A Lei nº 12305 de 2010, Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), conhecida também como PNRS, define em seu artigo 3º, inciso XI:

[...] XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.”

Entretanto, apesar de estar legalmente prevista, a gestão integrada ainda não é uma realidade na maioria dos municípios brasileiros, onde muitos deles não dispõem de aterro sanitário (IBGE, 2018).

A PNRS em seu artigo 20 requer ainda que os geradores de resíduos sólidos como os da construção civil elaborem um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

[...] Art. 20. Estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos:  
I – os geradores de resíduos sólidos previstos nas alíneas e, f, g e k do inciso I do art. 13;  
II – os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que:

- a) gerem resíduos perigosos;
- b) gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal;
- III – as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama.

A Resolução nº 307 de 2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é a norma de referência para Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil, como é requerido em seu artigo 5º que os municípios brasileiros devem elaborar um Plano Integrado de Gerenciamento de RCC (CONAMA, 2002).

[...] Art. 5º É instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, o qual deverá incorporar:

- I - Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil;
- e II - Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Ainda, a Resolução de número 307 de 2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) requer também a elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil (PGRCC) que, em seu artigo 9º, informa que devem ser elaborados e implementados pelos geradores de RCC, devendo apresentar: caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação (CONAMA, 2002).

A referida Resolução, em seu artigo 10 (CONAMA, 2002), apresenta também a classificação e tipos dos RCC, conforme apresentado no Quadro 2.1.

**Quadro 2.1-** Classificação e disposição dos RCC, conforme a resolução CONAMA 307 (2002)

Classe dos RCC	Tipos de RCC
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/2011).
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, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/2004).

Fonte: CONAMA (2002)

A norma NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos por classes, porém, a resolução CONAMA 307 é mais específica quanto à classificação dos resíduos da construção civil. Quanto ao tipo de classificação, Nagalli (2014) a considera falha, deixando de considerar a avaliação individual do resíduo, sabendo-se que um material a princípio reciclável pode ser misturado ao contatar com outro material.

Ainda de acordo com o referido autor, os resíduos, independentemente de sua constituição, podem transitar entre as diversas categorias da classificação, devido às circunstâncias locais. Neste contexto, as embalagens de cimento Portland geralmente possuem duas camadas de papel Kraft, sendo que a interna fica de fato contaminada e a externa talvez não.

O problema existente na geração de resíduos da construção civil movimenta todo o setor, visto que a Resolução CONAMA 307 e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) atribuem responsabilidades compartilhadas entre os geradores, transportadores e gestores municipais (BARBOSA; IBRAHIN, 2014).

Cada Estado do Brasil possui um Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON), que teve um grande papel ao longo dos anos na disseminação da Resolução do CONAMA 307, através de palestras, cursos, *workshops*, dentre outros. Em fevereiro de 2018 o SINDUSCON do estado de Minas Gerais lançou, através do portal Piniweb e disponibilizou em seu *site* oficial, a 3ª edição da publicação “Alternativas para Destinação de Resíduos da Construção Civil” (SINDUSCON-MG..., 2018), sendo um dos guias mais recentes no Brasil elaborado para a gestão de RCC na região metropolitana de Belo Horizonte. Neste guia, ainda não é apresentada alternativa para reaproveitamento de grandes quantidades de sacos de cimento Portland. É disponibilizada uma tabela com opções de destinação, sendo possível via aterro Classe I ou incineração térmica – ou seja, não apresentados meios para reuso ou reciclagem das embalagens de cimento Portland, seguindo o padrão de outros Plano de Gestão de Resíduos de Construção Civil antecessores. O Quadro 2.2, apresentado de forma resumida, expõe como esta opção é comunicada.

**Quadro 2.2** - Receptores de papelão e sacarias contaminados na região metropolitana de Belo Horizonte

Empresa	Resíduos que recebe	Condições para recebimento do resíduo	Destinação dada ao resíduo	Custos
G	Papelão contaminado	Sem restrições	Aterro industrial classe I	Deverá ser negociado entre as partes
HB	Diversos contaminados com óleos e graxas	Caminhão Basculante	Holcim	A combinar
LL	Todos os tipos de sacarias	Independente	Aterro Classe I	Deverá ser negociado entre as partes
RRI	Sacarias	Sem restrições	Tratamento térmico (incineração) ou disposição final (aterro industrial classe II)	Cobra para receber o resíduo
Legenda: <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #c6e0b4; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Referente às embalagens de cimento Portland				

Fonte: SINDUSCON-MG (2014)

A Secretaria de Meio Ambiente da Cidade do México, que é uma das regiões metropolitanas mais populosas do mundo (DEMOGRAPHIA, 2018, p.22), dispõe de uma nova versão do *Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos* (PGIRS) para os anos de 2016 a 2020, o qual é considerado atualizado quanto à gestão dos resíduos. O referido plano exhibe em sua apresentação:

*[...] El presente programa incluye los datos más sobresalientes sobre el manejo de residuos en la Ciudad de México. Esta versión da continuidad a los dos programas anteriores en su política central e inserta aspectos de acciones de "Basura Cero", siendo más ambicioso en sus esquemas de aprovechamiento y valorización de los residuos, minimizando la cantidad de residuos que se envíen a disposición final en rellenos sanitarios (MÉXICO, 2016, p. 1).*

Para a gestão de resíduos de construção civil, o PGIRS mexicano remete para a norma ambiental do Distrito Federal daquele país (MÉXICO, 2016), conhecida como NADF-007-RNAT-2013 de fevereiro de 2015, que estabelece a classificação e especificação de manejo para RCC. Os Quadros 2.3a e 2.3b apresentam a classificação dos resíduos de construção e seus possíveis reuso de acordo com a referida norma e não inclui descrição e opção para reutilização de embalagens contaminadas por cimento Portland.

**Quadro 2.3-** Classificação e possíveis reuso de resíduos de construção e demolição para a Cidade do México

Tipos de resíduos de construção e demolição	Possível reutilização
<b>A - De concreto hidráulico e argamassa</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos pré-fabricados</li> <li>• Elementos estruturais e não estruturais</li> <li>• Restos de concreto no trabalho e pré-misturados</li> </ul>	Bases hidráulicas em estradas e estacionamentos. Betão hidráulico para construção de pavimentos, ciclo, trilhas, calçadas e calçadas. Preparação de produtos pré-fabricados. Bases para pistas pavimentos. Material para a conformação da terra. Preenchimentos em fundações. Mobiliário urbano. Construção de paredes divisórias.
<b>B - Mesclados</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concreto Hidráulico</li> <li>• Argamassas</li> <li>• Blocos, Bloquetes, pedra natural</li> <li>• Tubos de esgoto</li> <li>• Cerâmica</li> <li>• Alvenaria</li> <li>• Pre-fabricados de argila</li> <li>• Pedra do pedregulho</li> <li>• Agregados de pedra</li> </ul>	Sub-bases em estradas e estacionamentos. Construção de taludes. Cobertura e estradas interiores em aterros sanitários. Material para cama, cotovelos e enchimento Tensões. Construção de pedra plenos. Material para a conformação da terra. Enchendo caixas de flores. Preenchimentos em fundações.
<b>C - Sobras de concreto asfáltico</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasta de asfalto</li> <li>• Bases Negras</li> </ul>	Asfalto ou bases pretas. Betume de asfalto quente. Betume de asfalto temperado ou quente. Betume de asfalto temperado ou quente.
<b>D - Desperdícios de escavação</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solos não contaminados e materiais de pedra argila, granular e natural contidos neles.</li> </ul>	A sua separação deve ser privilegiada para facilitar a reutilização e reciclagem.
<b>E - Resíduos urbanos sólidos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papel e cartão</li> <li>• Madeira, Metais, Vidro</li> <li>• Plástico</li> <li>• Poda de resíduos, corte e jardinagem</li> </ul>	A sua separação deve ser privilegiada para facilitar a reutilização e reciclagem.
<b>F - Outros</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos de impermeabilização</li> <li>• Instalações elétricas</li> <li>• Amianto, tubulações e Ferragens</li> </ul>	A sua reciclagem deve ser privilegiada.

Fonte: Governo de México (2015)

Na realidade, tanto a publicação do SINDUSCON-MG (2014) como o PGIRS mexicano (2016), apesar de recentes, são exemplos de diretrizes de referência que não incluem uma forma absoluta para reuso dos sacos de cimento Portland contaminados, apesar de que Brasil e México estejam entre os maiores produtores de cimento Portland no mundo (SNIC, 2013).

O Apêndice A apresenta lista de outras diretrizes internacionais de referência para elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, enquanto o Apêndice B apresenta outras normas técnicas e jurídicas de referência para implementação dos PGRCC no Brasil.

## **2.2 Critérios para o material em estudo**

Embora que as vergas sejam destinadas para alvenaria não estrutural, deve-se ponderar as prescrições da ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, onde diz que um elemento pré-fabricado é aquele produzido fora do local definitivo da estrutura, em usina ou em condições análogas que disponham de pessoal e instalações laboratoriais permanentes para o controle de qualidade.

De acordo ainda com a referida norma, a definição de concreto pré-moldado é de um elemento produzido fora do local na qual será definitivamente empregado. O controle de qualidade acerca deste concreto é menos rigoroso, devendo ser inspecionado por pessoal capacitado.

Já o concreto pré-fabricado, que também é definido por um material confeccionado externamente, mas de forma industrial, atende a padrões mais rigorosos de controle de qualidade, sendo avaliado em várias etapas de sua fabricação, além de armazenamento, transporte e utilização final.

O Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade (PBQP-H), através do Sistema de Avaliação da Conformidade (SiAC), estabelece que as empresas construtoras participantes devem ter procedimentos documentados para produção de pré-moldados (BRASIL, 2017). Para ser coerente com o SiAC as empresas construtoras devem criar um padrão para a produção de vergas pré-moldadas.

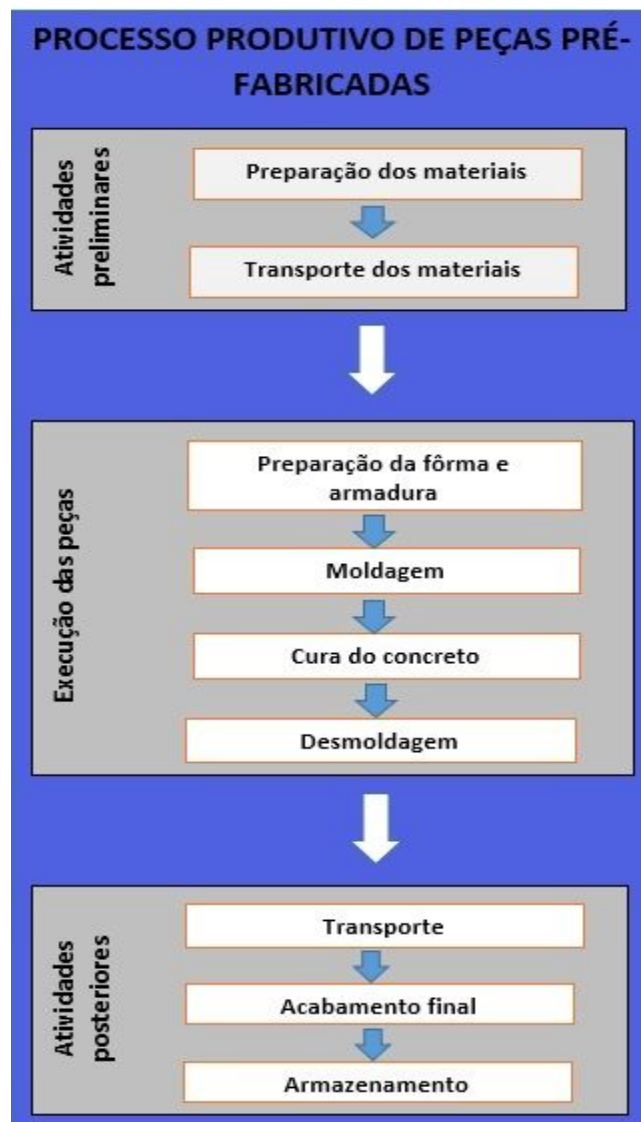
No Brasil, as composições de insumos convencionais do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que é uma das principais

ferramentas para orçamento de obra, oferecem opções para produção de vergas para alvenaria não estrutural (SINAPI, 2017).

Ainda, a NBR 8545:1984 – Execução de Alvenaria sem Função Estrutural de Tijolos e Blocos Cerâmicos e a NBR 6118:2014 – Projeto e Execução de Estrutura de Concreto Armado são referências para produção de vergas, estabelecendo as configurações e podendo usar como referência para admissão de deslocamento máximo (flecha), quando a verga substitui uma viga (ABNT, 2014).

El Debs (2000) propôs um modelo do processo produtivo de peças pré-fabricadas, o qual é apresentado de forma adaptada na Figura 2.1 e pode ser utilizado na produção de vergas.

**Figura 2.1** - Processo produtivo de peças pré-fabricadas



Fonte: El Debs (2000) *apud* Cavalheiro (2011), p.55

Pode-se assegurar que na fase “preparação dos materiais”, alocada nas “atividades preliminares”, as embalagens de cimento Portland podem ser subprodutos gerados. Está presente neste estudo a reutilização das embalagens na própria produção dos materiais (concreto), assim como na fase próxima, que é “preparação da fôrma e armadura”, alocada em “execução das peças”.

### **2.3 Pesquisas similares ao trabalho proposto**

Vários grupos de pesquisas já estudaram a reutilização das embalagens de sacos de cimento Portland, no entanto, nada globalmente estabelecido de modo a atender a demanda efetivamente e que possa considerar este subproduto como matéria prima nos canteiros de obra.

Usualmente, os sacos de cimento Portland e similares são reutilizados nas obras de acordo com algumas formas típicas, como por exemplo: na proteção mecânica de serviços acabados, fôrmas de concreto e contra respingo de pintura (AECWEB, 2017), porém, ainda não se caracterizam como uma destinação final do subproduto, inclusive podendo alterar sua classe quando contaminado por outro resíduo.

Já houve estudos mais aprofundados para avaliar o uso das embalagens na produção de materiais, como: impermeabilizante (RAAD, *et al.*, 2012) e bloco não estrutural (Alves, *et al.*, 2016). As políticas para gestão de resíduos da construção civil são relativamente recentes, porém, vários pesquisadores já estudaram também comportamento de concreto com adição de resíduos, como: vidro (TOPÇU e GANBAZ, 2004), borracha (AKASAKI, *et al.*, 2001), garrafa PET (MODRO, 2008), dentre outros.

Na Índia, a geração de resíduos sólidos cresce 5% ao ano e foi objeto de estudo o comportamento de concreto para 25MPa com resíduos de papel, onde foram verificados resultados satisfatórios para concreto com adição de 10 a 15% de resíduos de papel (SINGH, *et al.*, 2015).

O papel Kraft, que é o tipo utilizado nas embalagens de cimentos Portland, também já foi estudo na composição de concreto e argamassa, verificada em laboratório da Universidade Federal de Goiás (UFG). Sendo validada em estudos laboratoriais, a fibra extraída do papel pode ser utilizada na dosagem de concreto ou argamassa, como já foi demonstrado, por exemplo, por Santos e Carvalho (2011), que



pesquisaram e validaram o uso de papel Kraft proveniente de sacos de cimento e de cal em argamassa para assentamento de alvenaria.

Outro exemplo são os estudos realizados por Khorami *et al* (2013) da Coventry University (Reino Unido), onde a solução preparada com as fibras da polpa do papel apresentaram uma solução consistente no concreto, sendo investigadas as placas de cimento reforçadas com fibras, apresentando resultados satisfatórios para esforço de flexão.

A embalagem de cimento Portland pode ser picotada em pequenos pedaços à mão e tratada em água, sendo considerado satisfatório seu desempenho e utilizada como reforço na produção de compósitos de cimento de baixa alcalinidade, avaliando o material aos 28 dias de idade (MÁRMOL *et al*, 2013).

Outros resíduos já foram empregados na parte interna de elementos pré-moldados não estruturais para estudo: no Instituto Federal de Alagoas (IFAL) foi verificada aplicação em elementos pré-moldados por Cavalcante *et al* (2016), validaram um tipo de mourão de concreto armado onde sua parte interna era preenchida com garrafas PET, reduzindo o consumo de concreto do mesmo.

O uso de vergas pré-moldadas em alvenaria não estrutural demanda de estudos quanto à carga a qual a verga será submetida. Suter e Keller (1976) relatam nos resultados de ensaios experimentais que o comportamento de uma viga de alvenaria armada, com seção totalmente grauteada, é semelhante ao do concreto armado. Os autores indicam que, quanto maior for a relação entre o vão e a altura da viga, menor será a resistência à força cortante.

Assim, a relação entre vão e altura é uma das variáveis mais importantes para a observação das vergas que são adaptadas, ou seja, as alvenarias não estruturais mais típicas causam menos tensões normais quando são apoiadas sobre vergas em vãos menores.

Ainda, com relação a análise das propriedades de materiais reforçados e seus comportamentos, ao longo do tempo das pesquisas já citadas, houve mais averiguações avaliando os resíduos sólidos como papel kraft ou similares para potencial reuso nos canteiros de obras, validando a reutilização dos resíduos para determinadas adaptações. O Quadro 2.4 apresenta outras referências consideradas relevantes por ordem cronológica.

**Quadro 2.4** - Outras pesquisas similares ao trabalho proposto

Título	Referência	Ano	País
1. Reforço de concreto com fibras recicladas.	Wang <i>et al</i>	2000	 EUA
2. Impactos energéticos da reciclagem do material de desmontagem em edifícios residenciais.	Gao <i>et al</i>	2001	 Japão
3. Utilização de resíduos da produção de celulose kraft na produção de tijolos de barro.	Demir <i>et al</i>	2005	 Turquia
4. Durabilidade dos compósitos de fibras de celulose kraft para ciclos úmidos / secos.	Mohr <i>et al</i>	2005	 EUA
5. Uso de materiais residuais selecionados em misturas de concreto.	Batayneh <i>et al</i>	2007	 Jordânia
6. Reutilização de resíduos plásticos termoendurecíveis para betão leve.	Panyakapo	2008	 Tailândia
7. Utilização de resíduos cerâmicos como agregados finos em concretos de cimento Portland e cinza volante.	Torkittiku e Chaipanich	2010	 Tailândia
8. Desenvolvimento de material de construção sustentável usando resíduos sólidos industriais e agrícolas.	Raut <i>et al</i>	2011	 Índia
9. Compósitos à base de cimento reforçados com fibras celulósicas: uma revisão de pesquisas recentes.	Ardanuy <i>et al</i>	2015	 Espanha
10. Modelo de destinação de resíduos da construção civil baseado na análise da infraestrutura e legislação do município de São Paulo.	Lombardi Filho	2017	 Brasil

Fonte: Elaborado pelo Autor (2017)

Na realidade, a maioria dos estudos já realizados requerem um rigoroso controle de qualidade ou possibilitam a reutilização de forma limitada, o que dificultam a prática no cotidiano dos canteiros de obras. Considerando os problemas causados pelas grandes quantidades de embalagens descartadas, é pertinente a busca constante por soluções de reuso de forma que possa eliminar o descarte preferencialmente onde elas são geradas, como por exemplo nos processos de produção de vergas pré-fabricadas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Produção das fibras a partir das embalagens

Conforme método previsto no fluxograma da Figura 1.3, as embalagens dos sacos de cimento Portland foram trituradas durante aproximadamente 2 minutos, usando um processador *Mondial Full Kitchen*, com potência de 500W, frequência de 60Hz e capacidade de 2 litros. O material triturado foi disperso em bandejas de metal com capacidade de 10 litros e colocado para secar à temperatura entre 24 e 26°C, durante um período de 24 horas. Após a secagem, o material obtido foi denominado de “fibras”, e está ilustrado na Figura 3.1.

**Figura 3.1-** Embalagens dos sacos de cimento trituradas (fibras)



Fonte: Autor (2017)

#### 3.2 Referência para produção do concreto para os modelos de vergas

Para este trabalho foi observada a produção usual de vergas em uma fábrica de pré-moldados na cidade de Palmeira dos Índios – AL (Figuras 3.2a e 3.2b), onde se utiliza dosagem do concreto de 1:3:3:0,5 (cimento CII-Z 32, areia lavada média com módulo de finura de 2,85, pedrisco britado e fator água/cimento) e armadura de 5 a 8mm.

**Figura 3.2a-** Fábrica de pré-moldados na cidade de Palmeira dos Índios-AL (por satélite)



Fonte: Google maps (2018)

**Figura 3.2b-** Fachada frontal da fábrica de pré-moldados



Fonte: Autor (2017)

A dosagem padrão da fábrica foi estudada em laboratório, acrescentando teor de fibras do papel da embalagem de cimento Portland.

Para verificação e ajustamento das vergas observadas, foram utilizadas como referência as normas técnicas:

- ABNT NBR 11578:1991 – Cimento Portland Composto – Especificações;
- ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- ABNT NBR 7480:2007 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificações;
- ABNT NBR 12566:2015 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.

### 3.3 Estudo da dosagem dos concretos

Para os tipos de concreto, os ensaios com corpos de prova foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5738:2003 – Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Estudos de Santos e Carvalho (2011) e Khorami et al (2013) demonstram eficácia com teores de fibras de 5 a 10% na dosagem do concreto.

Assim, inicialmente foram realizados estudos com teores de fibras de 5, 8 e 10%, onde foi validado um teor de 5% na composição do concreto, o qual substitui o mesmo valor na massa do agregado miúdo, sem proporcionar mudanças significativas em comparação com o concreto comum, quanto à resistência à compressão axial de modo a assegurar esta resistência à compressão entre 13,5 e 20MPa (ver resultados das características das amostragens do concreto utilizados nas vergas no subitem 4.1). A referência utilizada quanto a este intervalo de resistência são as composições do SINAPI. A Figura 3.3 apresenta materiais do concreto com adição de fibras antes da mistura.

**Figura 3.3** - Fibra substituindo 5% da massa do agregado miúdo (areia)



Fonte: o Autor (2017)

Os corpos de prova foram confeccionados em moldes de aço, medindo 0,1m de diâmetro por 0,2m de altura, conforme apresentado na Figura 3.4. O concreto sempre foi disposto nos moldes com paredes umedecidas com óleo lubrificante (em camadas e adensado manualmente). A cura inicial ocorreu ao ar livre, sobre uma bancada reta

e horizontal, por 24 horas. Em seguida, os corpos de prova passaram a cura no modo imerso em água (Figura 3.5), até a data de ruptura.

Com objetivo de avaliar a densidade, antes do ensaio de compressão axial, foram sempre observadas as massas tanto para o concreto normal como para o concreto com fibras. Esta avaliação foi com uma balança KN Waagen, com capacidade de 8800g e precisão de 0,1g.

**Figura 3.4** - Corpos de prova para ensaios



Fonte: o Autor (2017)

**Figura 3.5** - Corpos em processo de cura



Fonte: o Autor (2017)

Os ensaios com corpos de prova foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 5738:2003 – Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Para o ensaio de resistência à compressão, utilizou-se uma prensa hidráulica EMIC com célula de carga de 2000 KN, conforme ilustrado na Figura 3.6. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2007 – Concreto - Ensaio a Compressão de Corpos-de-prova cilíndricos. Ainda, na mesma prensa, foi verificada, no concreto validado, a resistência à tração por compressão diametral de acordo com a NBR 7222:2011, conforme apresentado no subitem 4.1.

**Figura 3.6** - Corpo de prova na prensa de ensaio de resistência à compressão



Fonte: o Autor (2017)

### **3.4 Elaboração dos modelos e preparo das vergas**

As embalagens de cimento foram torcidas formando um cilindro de  $5,16 \cdot 10^{-2} \text{m}$  de diâmetro e  $4,8 \cdot 10^{-1} \text{m}$  de altura, conforme apresentado na Figura 3.7. Foram usados dois sacos torcidos em cada modelo estudado, resultando em um volume que corresponde aproximadamente 20% do total de uma verga com dimensões de  $0,10 \times 0,10 \times 1,00 \text{m}$ , isto é, o volume de concreto adotado passaria a ser de 80% do volume da verga convencional, desprezando a ocupação da armadura.

**Figura 3.7** - Embalagem de um dos sacos de cimento Portland torcido em forma de cilindro ( $\varnothing=5,16.10^{-2}m$ ;  $h=4,8.10^{-1}m$ )



**Fonte:** o Autor (2017)

As embalagens foram introduzidas na parte interna da extensão central das armaduras, considerada região da Linha Neutra (LN). Método similar ao reaproveitamento de garrafas PET em mourões de concreto armado desenvolvido por CAVALCANTE *et al* (2016).

Como a verga de estudo, que tem espaço ocupado por sacos de cimento, consome aproximadamente 80% dos insumos de concreto da verga convencional da fábrica, esse percentual foi poupado no consumo de areia e brita, mantendo o mesmo consumo de cimento para aumentar a resistência à compressão, buscando equilíbrio da ausência de concreto na região ocupada por sacos de cimento. Destarte, ficou estabelecida uma dosagem de concreto 1:2,4:2,4:0,5 (cimento, areia lavada média, pedrisco e fator água/cimento). Ou seja, o cimento economizado na região preenchida por saco de cimento foi incorporado à dosagem para compensar a provável perda de resistência do elemento pré-moldado, enquanto a economia de areia e brita foi mantida.



Destarte, foram definidas e produzidas 3 unidades de cada um dos 3 tipos de vergas (dimensões de 0,10x0,10x1,00m, com recobrimento de 0,02m) para estudo em laboratório:

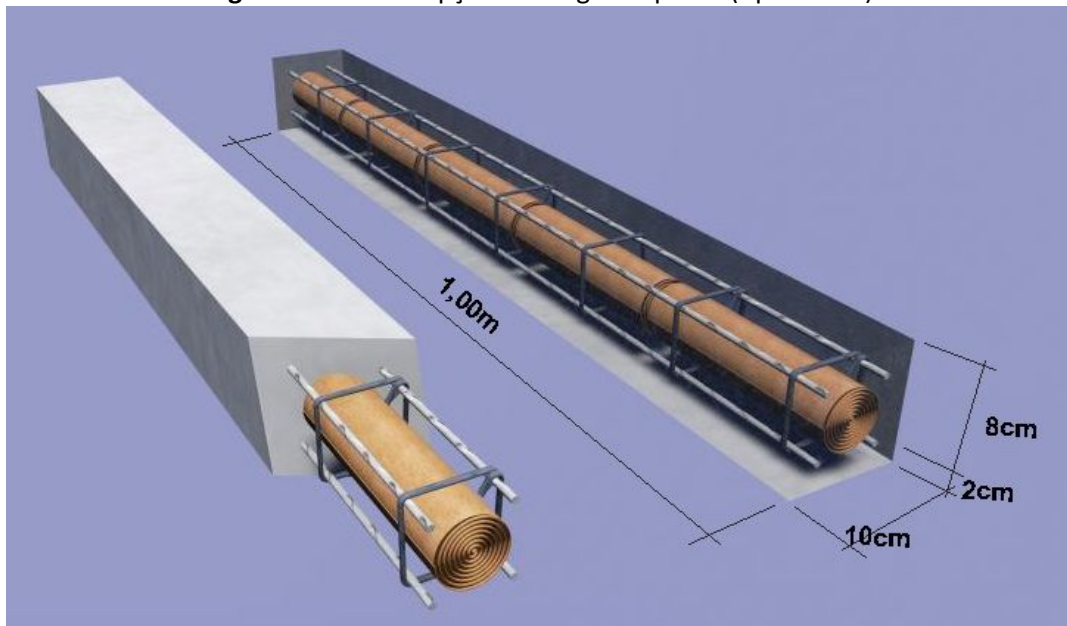
**Verga tipo A** – concreto com dosagem 1:2,4:2,4:0,5 (cimento CII-Z 32, areia lavada média, pedrisco britado e fator água/cimento) e com duas embalagens de cimento Portland torcidas na parte interna da armadura, ocupando aproximadamente 20% do volume.

**Verga tipo B** – concreto com dosagem 1:2,4:2,4:0,5 (cimento CII-Z 32, areia lavada média, pedrisco britado e fator água/cimento), sendo um teor de 5% de fibras (substituindo a massa da areia lavada) e com duas embalagens de cimento Portland torcidas na parte interna da armadura, ocupando aproximadamente 20% do volume.

**Verga tipo C** – convencionais da fábrica de pré-moldados, conforme subitem 3.2 (sem adição de embalagens).

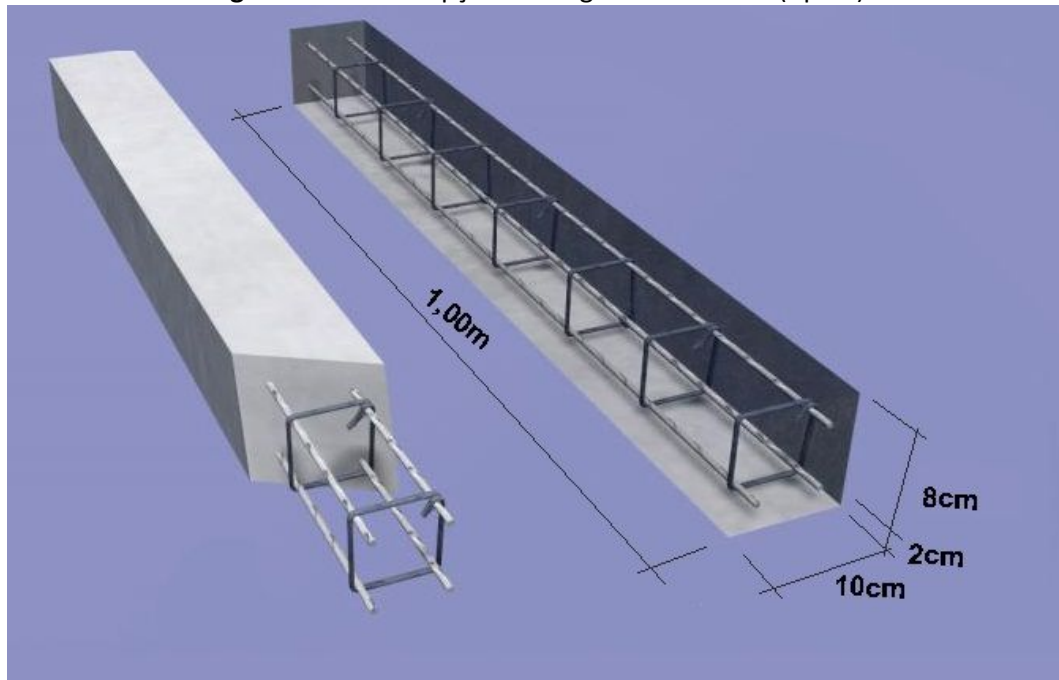
As Figuras 3.8a e 3.8b apresentam a concepção das vergas em estudo e ilustram a diferença entre elas, sendo um modelo adaptado com embalagens de cimento como parte de sua estrutura (tipos A e B) e maciça (tipo C):

**Figura 3.8a** - Concepção de verga adaptada (tipos A e B)



Fonte: o Autor (2016)

**Figura 3.8b** - Concepção de verga convencional (tipo C)



Fonte: o Autor (2016)

Para todas as vergas foram utilizadas 4 barras de aço CA 50 de 8mm e estribos de aço CA 50 de 5mm a cada 0,20m, como apresentado na Figura 3.9.

**Figura 3.9** – Embalagens retorcidas introduzidas nas armaduras



Fonte: o Autor (2016)

A Figura 3.10 apresenta as vergas prontas para concretagem na fábrica de pré-moldados. Depois de produzidas, as vergas foram mantidas em ambiente de cura recomendado pela fábrica e, após 24 horas, desformadas e mantidas sem sobrecargas, sendo hidratadas constantemente durante 14 dias, tendo como referência a ABNT NBR 5738.

**Figura 3.10** - Produção das vergas tipos A e B, com embalagens retorcidas na parte interna



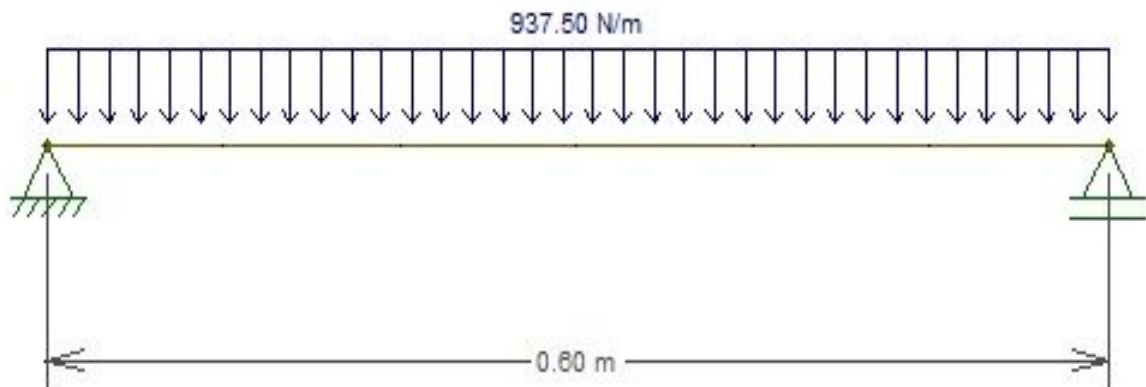
Fonte: Autor (2017)

### 3.5 Proposta do método de ensaio para as vergas

Segundo Adão e Hemerly (2010), a alvenaria comum de tijolo, com emboço e reboco, possui peso específico de  $1250\text{kg/m}^3$ . Com esta informação, foi calculada a carga para uma situação comum de alvenaria não estrutural sobre vergas. Considerando o peso específico de uma alvenaria típica com altura de  $0,50\text{m}$  e espessura de  $0,15\text{m}$  sobre o vão, que são dimensões peculiares sobre as vergas, calcula-se uma carga de  $937,50\text{N/m}$ , resultando um momento fletor máximo de  $42,2\text{N.m}$

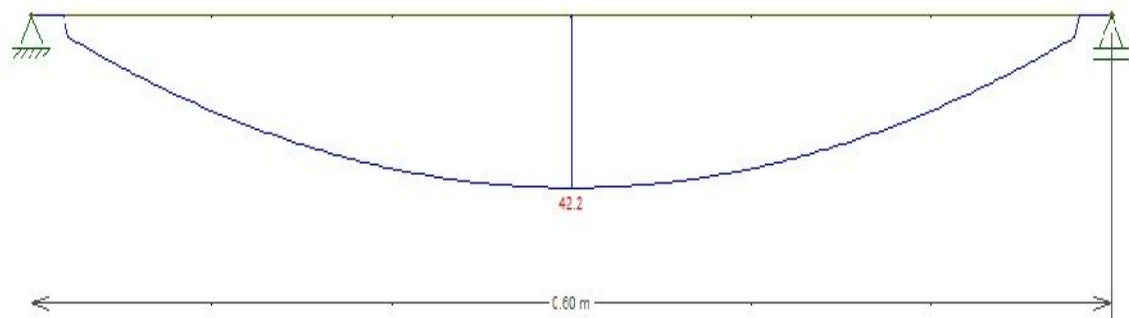
As figuras 3.11 e 3.12 representam as solicitações na verga para esta situação:

**Figura 3.11** - Simulação de carregamento em alvenaria não estrutural



Fonte: o Autor (2017)

**Figura 3.12** - Diagrama de Momento Fletor para carga distribuída



Fonte: o Autor (2017)

As solicitações de carga distribuída sobre a verga foram adaptadas para cargas concentradas a cada  $0,20\text{m}$  (a cada  $1/3$  do vão) de modo que gerassem o mesmo momento fletor e possibilitasse a realização dos ensaios de acordo com a ABNT NBR 12142:2010 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismático.

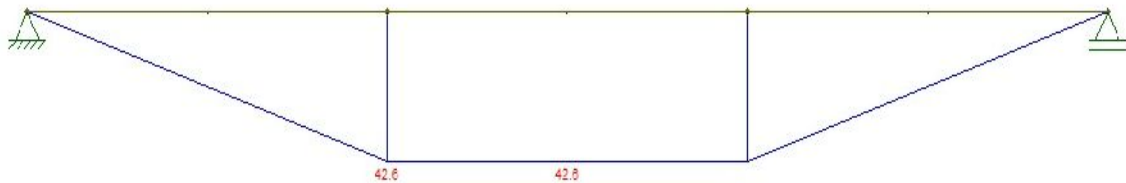
As figuras 3.13 e 3.14 representam as solicitações na verga para esta situação de forma adaptada para realização dos ensaios:

**Figura 3.13** - Adaptação das cargas para realização de ensaios



Fonte: o Autor (2017)

**Figura 3.14** - Diagrama de Momento Fletor para cargas concentradas



Fonte: o Autor (2017)

Nota-se que uma carga de 934,50 N/m gerou o mesmo momento fletor de duas cargas concentradas de 213N. Assim, foi esquematizado ensaio na máquina Instron 1000 HDX do laboratório de estruturas (Figura 3.15) da Escola Politécnica da UFBA de acordo com a ABNT NBR 12142:2010, devendo cada verga suportar uma solicitação de 213N, aplicada a cada 0,20m do vão útil de 0,60m, que corresponde a 1/3 do vão útil da verga. Os outros 0,40m da verga foram ocupados em cada um dos dois apoios de 0,20m, conforme requerido pela ABNT NBR 8545, para verificação do deslocamento, considerando uma incerteza da máquina de 1,27 $\mu$ m.

**Figura 3.15** - Máquina para verificação de carga e deslocamento das vergas



Fonte: o Autor (2017)

Deformação máxima permitida: a ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de Estrutura de Concreto - Procedimento - estabelece que a flecha máxima (deslocamento) de um vão seja  $L/250$ . No caso das vergas, para  $L=0,60\text{m}$ , ter-se-ia  $60/250$ , calculando-se um deslocamento máximo admissível de  $0,0024\text{m}$ .

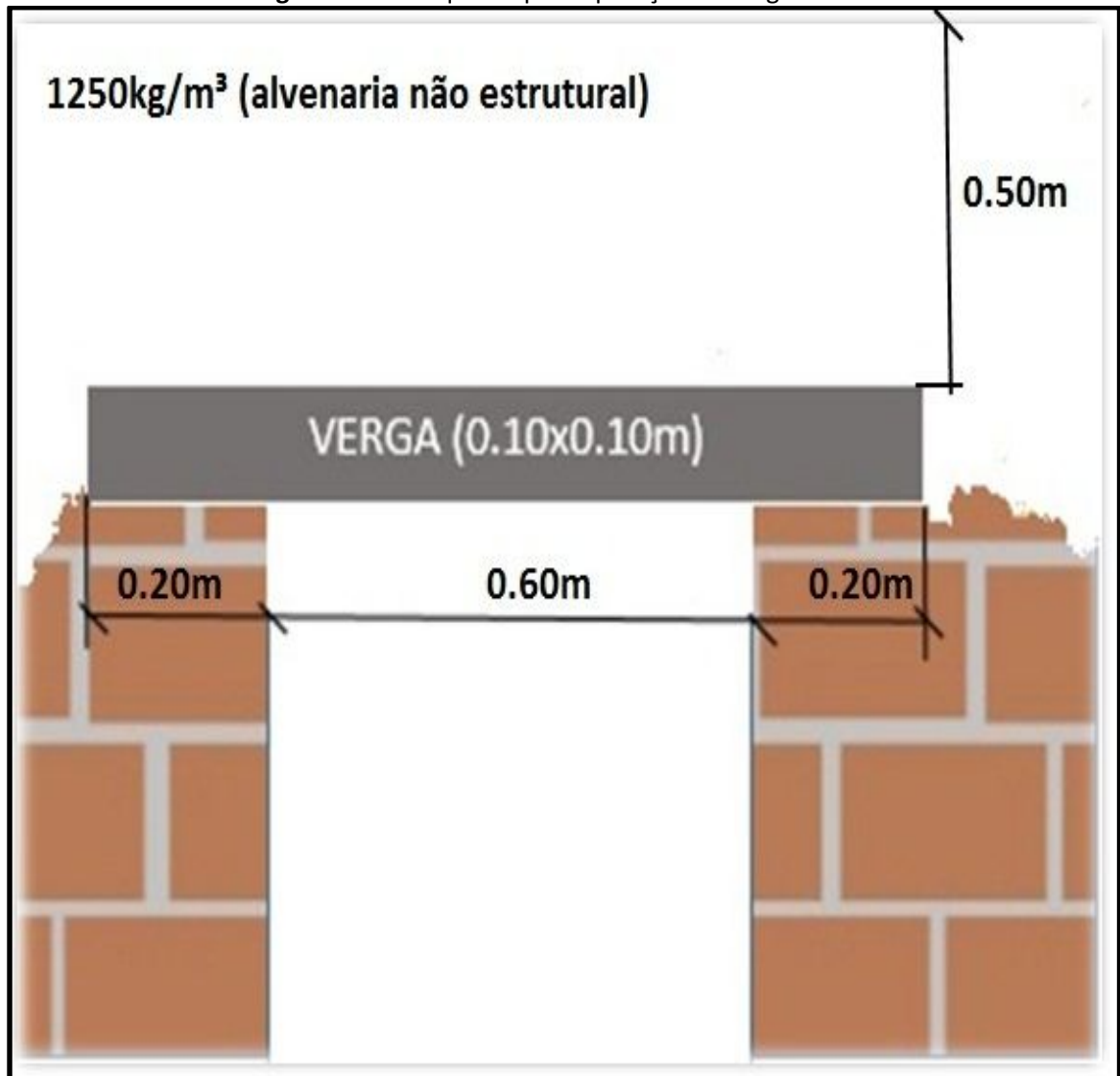
Antes dos ensaios, a massa das vergas foram verificadas na fábrica de pré-moldados através de uma balança Prix com capacidade de  $30\text{Kg}$  e precisão de  $5\text{g}$ .

### **3.6 Aplicação *in loco***

A aplicação *in loco* foi realizada com modelos de vergas validadas nos ensaios, especialmente aos tipos que apresentaram resultados mais críticos, onde foram aplicadas de acordo com a proposta estabelecida no subitem 3.5, ou seja, o material validado foi aplicado em uma alvenaria de acordo com as condições ensaiadas.

A Figura 3.16 apresenta o esquema de aplicação *in loco* da verga em alvenaria não estrutural, considerando a situação verificada no subitem 3.5.

Figura 3.16 - Esquema para aplicação da verga *in loco*



Fonte: o Autor (2017)

Além de vergas avaliadas nos ensaios, a alvenaria do projeto de teste de aplicação *in loco* foi executada conforme a ABNT NBR 8545:1984 - Execução de Alvenaria sem Função Estrutural de Tijolos e Blocos - e é composta de:

- Blocos cerâmicos com dimensões de 9X19X19cm, tendo como referência a ABNT NBR 15270-1:2005 – Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação – Terminologia e Requisitos.

- Argamassa com dosagem de 1:2:8 (cimento, cal e areia) para assentamento de bloco cerâmico, tendo como referência as composições do SINAPI;
- Emboço com dosagem de 1:3 (CP II-E-32 e areia lavada tipo média), tendo como referência a obra de MATTOS (2006, p. 48);
- Reboco pronto Massaforte 25Kg , executado conforme recomendações do fabricante.

A aplicação *in loco* foi feita sobre piso de concreto com resistência de 25MPa e submetida a intempéries.

Para a análise da aplicação *in loco* são levadas em consideração as prescrições da ABNT NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais – Desempenho, analisando o desempenho das vergas ao longo do tempo.

Para Holanda Júnior (2008), as fissuras são uma das causas mais típicas de falha no desempenho das alvenarias, podendo prejudicar a estética, na durabilidade e nas características da edificação, podendo também causar eventuais infiltrações. Na alvenaria, a fissura pode ser originada quando as tensões solicitantes são maiores do que a capacidade de resistência do material.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define um prazo de garantia que é usado como referência para avaliar o desempenho desta aplicação *in loco* das vergas, com o objetivo de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nessa norma, considerando o atendimento, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o cumprimento dos procedimentos especificados nos Manuais de Uso, Operação e Manutenção de um empreendimento.

Os prazos de garantia mínimos dos sistemas estão dispostos no Anexo D da NBR 15575 (ABNT, 2013), porém, para facilitar a compreensão, dispôs-se um quadro com os prazos de garantia dos principais itens da edificação. O Quadro 3.1 apresenta as informações dos prazos mínimos estabelecidos pela norma.



**Quadro 3.1-** Prazos de garantia, conforme a NBR 15575

<b>Sistemas, elementos, componentes e instalações</b>	<b>Prazo de garantia</b>
Fundações	5 anos
Estrutura	5 anos
Impermeabilização	5 anos
Integridade e vedação das instalações hidrossanitárias	5 anos
Paredes de vedação	5 anos
Aderência dos revestimentos em argamassa/gesso	5 anos
Estanqueidade de fachadas	3 anos
Funcionamento da instalação elétrica	3 anos
Funcionamento das instalações hidrossanitárias	3 anos
Fissuras nos revestimentos argamassados	2 anos
Aderência dos revestimentos em cerâmica/granito	2 anos
Pintura	2 anos
Fechaduras, ferragens, metais sanitários e equipamentos elétricos	1 ano
Fixação de vidros	1 ano
Esquadrias em madeira e aço	1 ano
Rejuntamento	1 ano
Legenda:  Referente à aplicação <i>in loco</i> das vergas	

Fonte: ABNT (2013)

Assim, para avaliação efetiva da aplicação *in loco*, considerando a norma de referência, a existência de patologia, tais como: fissuras, trincas e deflexão no vão,

será observada ao longo de 2 anos. O desempenho das vergas será avaliado de acordo com estas observações, que incluirá:

- Verificação visual para detectar fissuras e trincas;
- Inspeção com mangueira de nível de 3/8" e trena metálica de 5m (precisão de 1mm) para verificar o deslocamento máximo no meio do vão;
- Avaliação visual quanto à estabilidade da aplicação.

Como não foi encontrada referência de pesquisa sobre o comportamento de saco de cimento inteiro confinado na parte interna de um pré-moldado, caso seja manifestada alguma patologia na aplicação *in loco*, será investigada também se o processo de decomposição das embalagens afeta o concreto armado, conforme especificações da ABNT NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais – Desempenho.

## 4. RESULTADOS

Foi analisado o comportamento dos concretos utilizados nas vergas através de amostragens de corpos-de-prova para verificar o atendimento a uma resistência mínima, conforme colocado no subitem 3.3. Como o ensaio principal, as vergas produzidas também foram avaliadas em relação ao seu comportamento para uma carga de 213N (conforme estabelecida no subitem 3.5). A aplicação *in loco* foi implementada e seus resultados parciais foram verificados.

### 4.1 Avaliação do desempenho dos concretos (corpos de prova)

Os modelos de concretos utilizados na produção das vergas com e sem fibras foram avaliados, onde foram analisadas: o abatimento, a resistência à compressão axial, a densidade e a resistência à tração por compressão diametral.

Foram observadas algumas características peculiares no concreto com fibras, como menor densidade e deformabilidade (Figura 4.1). As fibras, funcionando como compósitos, tendem a causar deformação no concreto (AMARAL JÚNIOR; SILVA, 2017). Deve-se estabelecer critérios para limitar as deformações das estruturas (BOLTELHO, 2015), embora um concreto com alta resistência à compressão nem sempre é pouco deformável. Foi verificado que as resistências à compressão axial atendem as solicitações típicas verificadas em composições do SINAPI, colocadas no subitem 3.3. Assim, o concreto das vergas produzidas foram considerados validados.

**Figura 4.1** - Corpos de prova submetidos à resistência à tração por compressão diametral – amostragem do concreto da verga tipo B (esquerda) e da verga tipo A (direita)



Fonte: o Autor (2017)

Quanto a densidade, o volume das fibras é maior quando comparado com o volume da areia lavada. Os corpos de prova do concreto com fibras conseqüentemente também apresentaram menor massa em comparação ao concreto normal.

Aos 14 dias, foram verificadas as massas dos 3 tipos de concreto e dividida pelo volume dos mesmos, obtendo as suas densidades. As Figuras 4.2 e 4.3 apresentam as comparações das massas entre o concreto normal e concreto com fibras.

**Figura 4.2** – Verificação da massa do corpo de prova de concreto normal



Fonte: o Autor (2017)

**Figura 4.3** - Verificação da massa do corpo de prova de concreto com fibras



o Autor (2017)

A tabela 4.1 e 4.2 apresentam os resultados das análises dos corpos de prova.

**Tabela 4.1-** Análise das propriedades dos concretos no estado fresco

Tipos de Concreto	Tipos das vergas	Abatimento (cm)
Sem fibras	A	8,1
Com teor fibras (5%)	B	8,5
Convencional	C	8,0

Fonte: o Autor (2017)

A trabalhabilidade verificada na consistência do concreto com fibras foi considerada similar a dos concretos normais, sendo suficiente para produção das vergas.

**Tabela 4.2-** Análise das propriedades dos concretos no estado endurecido

Tipos de Concreto	Tipos das vergas	Resistência à compressão axial aos 14 dias (MPa)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias (MPa)
Sem fibras	A	16,73	2 360	2,18
Com teor fibras (5%)	B	13,72	2 320	1,63
Convencional	C	14,32	2 360	2,03

Fonte: o Autor (2017)

A resistência à compressão axial de cada tipo de concreto superou os 13,5MPa previsto no subitem 3.3. Os resultados de densidade e resistência à tração por compressão diametral influenciaram nos resultados das vergas, posteriormente.

## 4.2 Avaliação do comportamento das vergas

Foi observado um ganho na redução do peso próprio nas vergas tipo “A” e “B” em relação às vergas convencionais. A verga tipo “B”, composta por 5% de fibras e embalagens torcidas, pode apresentar o menor peso específico, se calculado a partir dos resultados dos corpos de prova do concreto (densidade) e dimensões das vergas.

A Tabela 4.3 apresenta massa calculada das vergas, considerando o projeto da Figura 3.8 e a densidade dos corpos de prova, desprezando a massa da armação e dos sacos de cimentos retorcidos, quando utilizados.

**Tabela 4.3-** Massa calculada das vergas

Tipos de vergas	Tipos de concreto	Volume de concreto calculado de acordo com a Figura 3.8 (m <sup>3</sup> )	Densidade do corpo de prova (Kg/m <sup>3</sup> )	Massa calculada (kg)
A	Sem fibras	0,008	2 360	18,88
B	Com teor de fibras (5%)	0,008	2 320	18,56
C	Convencional	0,01	2 360	23,60

Fonte: o Autor (2017)

A Tabela 4.4 apresenta a massa real das vergas, verificada na fábrica de pré-moldados.

**Tabela 4.4** - Massa das vergas verificada em balança

Verga	Amostra	*Massa verificada (Kg)	Desvio Padrão (Kg)	Massa média (Kg)
<b>Tipo A</b>	1	21,89	0,23	22,15
	2	22,22		
	3	22,34		
<b>Tipo B</b>	1	21,55	0,09	21,60
	2	21,53		
	3	21,70		
<b>Tipo C</b>	1	26,03	0,06	25,94
	2	25,89		
	3	25,90		

\*Inclui massa da armadura e massa dos sacos retorcidos na parte interna das vergas

Fonte: o Autor (2017)

Após 28 dias de cura, as vergas foram submetidas ao ensaio definido no subitem 3.5 e de acordo com a ABNT NBR 12142 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. As Figuras 4.4 e 4.5 apresentam registro da realização de ensaios.

**Figura 4.4** - Ensaio à flexão em verga (rompimento de verga com fissuras)



Fonte: o Autor (2017)

**Figura 4.5** - Ensaio à flexão em verga (rompimento de verga com fratura)

Fonte: o Autor (2017)

A Tabela 4.5 apresenta os resultados dos ensaios para o deslocamento e a Tabela 4.6 a carga de ruptura.

**Tabela 4.5** - Análise do deslocamento

Verga	Amostra	Deslocamento para 213N (m)	Desvio Padrão para deslocamento (m)	Incerteza para deslocamento (m)	Deslocamento limite p/ NBR6118 (m)
<b>Tipo A</b>	1	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,127 \cdot 10^{-5}$	$240 \cdot 10^{-5}$
	2	$1,5 \cdot 10^{-5}$			
	3	$2,1 \cdot 10^{-5}$			
<b>Tipo B</b>	1	$110,1 \cdot 10^{-5}$	$20 \cdot 10^{-5}$	$0,127 \cdot 10^{-5}$	$240 \cdot 10^{-5}$
	2	$70 \cdot 10^{-5}$			
	3	$91 \cdot 10^{-5}$			
<b>Tipo C</b>	1	$20,8 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$0,127 \cdot 10^{-5}$	$240 \cdot 10^{-5}$
	2	$27,0 \cdot 10^{-5}$			
	3	$22,1 \cdot 10^{-5}$			

Fonte: o Autor (2017)

**Tabela 4.6** - Análise da capacidade de cargas (carga de ruptura)

Verga	Amostra	Carga ruptura (N)	Desvio Padrão para ruptura (N)
<b>Tipo A</b>	1	26 537	3 227
	2	29 769	
	3	32 992	
<b>Tipo B</b>	1	29 288	1 370
	2	32 028	
	3	30 652	
<b>Tipo C</b>	1	17 824	2 309
	2	22 443	
	3	20 135	

Fonte: o Autor (2017)

O Apêndice C apresenta os gráficos do deslocamento em função de carga inicial, os quais foram elaborados com os dados obtidos pelo *software* da máquina.

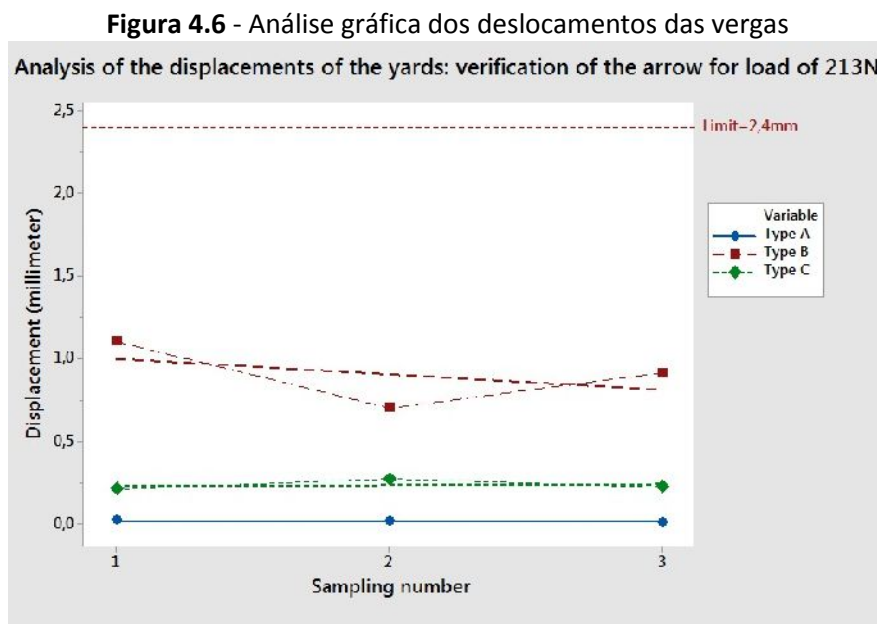
Não foram apresentadas fissuras em nenhum dos modelos para a solicitação de 213N, assim como as flechas (deslocamentos) para esta verificação foram bem menores que o limite calculado no subitem 3.5, que é de 0,0024m.

Entre as vergas adaptadas, o menor resultado de ruptura avaliado foi de uma amostragem tipo A, mesmo assim, sua carga de ruptura apresentou resultado mais de 100 vezes superior à carga simulada de 213N. O maior resultado de ruptura avaliado também foi de uma verga tipo A, que só rompeu com uma carga mais de 154 vezes maior que a simulada, onde fica observada ainda uma oportunidade de otimização no processo.

A verga tipo B, com teor de fibra no concreto e embalagem de cimento em sua estrutura, além da densidade considerada ótima, apresentou resistência considerável para uma solicitação de 9375N/m, sendo representado por 0,50m de carga de alvenaria não estrutural, conforme situação proposta em 3.5. A fibra das embalagens, funcionando como compósito, ocasionou deformação também nos corpos de prova das vergas, onde em alguns casos podem ser considerados resultados favoráveis, por exemplo, quando a deformabilidade proporciona um conforto para a estrutura (BOTELHO, 2015, p.44). Quanto ao deslocamento da verga, o resultado da mesma foi significativo e preocupante, porém, demonstrou-se eficaz para a situação proposta.



A Figura 4.6 ilustra os resultados das vergas verificadas em comparação com o limite calculado para o deslocamento máximo.



As vergas tipo B apresentaram resistência, porém, mais deformação em relação a vergas tipos A e C. Contudo, foi notado que a deformação não ultrapassou o limite de 0,0024m estabelecido. Na ruptura, as fissuras mais típicas foram nas regiões onde o concreto sofre tração (no meio das vergas, como verificado na amostragem com identificação “2” na Figura 4.7). As vergas tipo B, identificadas com o número “3”, apresentaram fraturas similares, cisalhamento, deformação e microfissuras raras nas demais regiões dos corpos de prova.

**Figura 4.7**– Vergas submetidas à ruptura



Fonte: o Autor (2017)

Flecha em vãos de elementos de concreto pode ocasionar emperramento de esquadrias, assim como as rupturas podem causar outras patologias na alvenaria – as vergas tipo A, B e C apresentaram resistência ao limite proposto de 213N, no entanto, a verga tipo B apresentou deflexão relativamente alta, como já relatado. Foi constatado que o concreto contendo teor de fibras, que também reduz o consumo de areia e consome fibras, pode apresentar deformações indesejáveis de modo que poderiam impactar no estabelecimento destas vergas para cargas ou vãos maiores. Foi observado que a verga tipo A, mesmo consumindo menos materiais, apresentou melhor desempenho que a verga convencional (tipo C), além de destinar duas embalagens retorcidas em sua parte interna.

Na simulação proposta, todos os tipos de vergas apresentaram eficiência para as condições colocadas, sobretudo, sendo validadas em laboratório as vergas adaptadas.

### **4.3 Avaliação da aplicação *in loco***

Com a aplicação das vergas *in loco* se obtém um resultado considerado parcial, tendo em vista que seus desempenhos devem ser verificados ao longo do tempo de 2 anos, conforme estabelecido em 3.6.

As vergas tipo B, apesar de apresentarem maior deformação, foram consideradas validadas, portanto, entendidas como as mais críticas, sendo o tipo selecionado para aplicação *in loco*. Destarte, três modelos foram produzidos conforme o subitem 3.4 e aplicados *in loco* em laboratório de acordo com a situação verificada no subitem 3.6.

Aplicação *in loco* é parte da simulação da eficácia em uma situação real, a qual pode ser entendida como parte do objetivo geral desta pesquisa, desde o processo de produção das vergas. No dia 05 de novembro de 2017 foram concluídas as aplicações *in loco* para verificação e identificadas pela sequência: I, II e III. As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam a amostragem I da verga tipo B aplicada de acordo com as situações definidas.

**Figura 4.8 – Verga assentada (amostragem I)**



**Fonte:** o Autor (2017)

**Figura 4.9 – Alvenaria rebocada (amostragem I)**



**Fonte:** o Autor (2017)

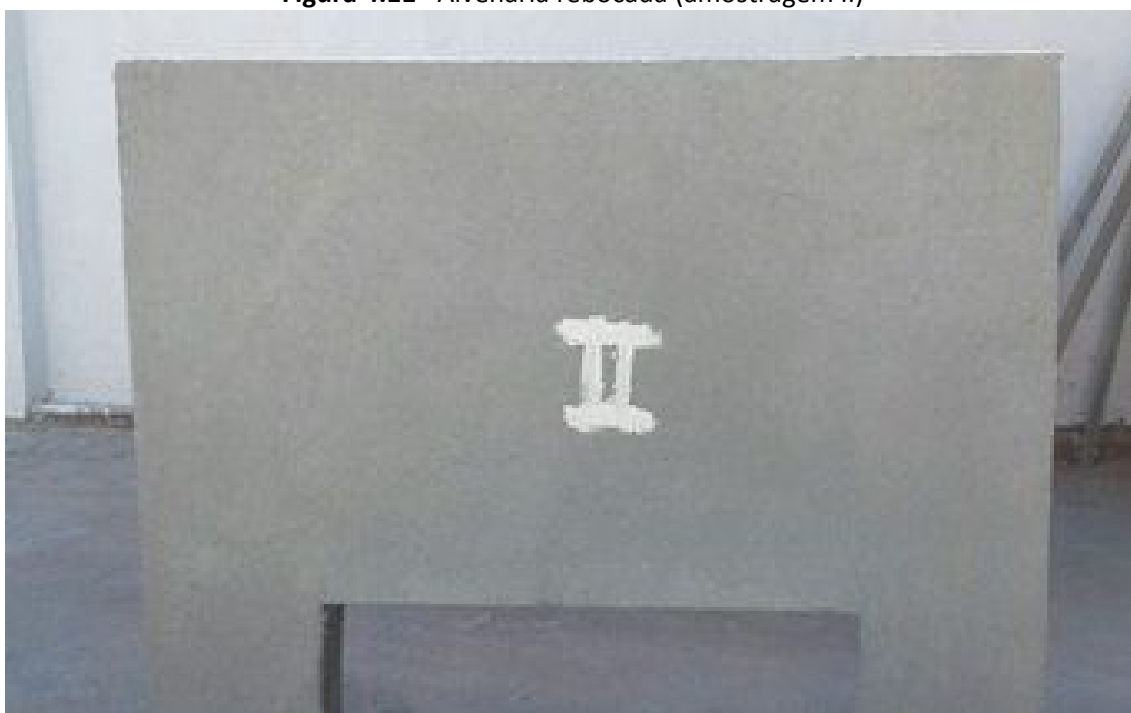
As Figuras 4.10 e 4.11 apresentam a amostragem II da verga tipo B aplicada de acordo com as situações definidas no subitem 3.6.

**Figura 4.10 – Verga assentada (amostragem II)**



**Fonte:** o Autor (2017)

**Figura 4.11– Alvenaria rebocada (amostragem II)**



**Fonte:** o Autor (2017)

As Figuras 4.12 e 4.13 apresentam a amostragem III da verga tipo B aplicada de acordo com as situações definidas no subitem 3.6.

**Figura 4.12** - Verga assentada (amostragem III)



Fonte: o Autor (2017)

**Figura 4.13** – Alvenaria rebocada (amostragem III)



Fonte: o Autor (2017)

Os resultados desta verificação só serão consolidados em 05 de novembro de 2019, atendendo o prazo de 2 anos estabelecido no subitem 3.6. Porém, três meses após a aplicação foi realizada uma avaliação parcial. As Figuras 4.14 e 4.15 ilustram a realização das inspeções.

**Figura 4.14** – Verificação de deslocamento com mangueira de nível



**Fonte:** o Autor (2017)

**Figura 4.15** – Verificação de fissuras, trincas e deslocamento com trena metálica



**Fonte:** o Autor (2017)

Nesta avaliação parcial, não foram identificadas fissuras, trincas e deslocamento nas amostras das vergas aplicadas *in loco*. O Apêndice D apresenta ficha para verificação da aplicação *in loco*.

## 5. CONCLUSÃO

Foi verificado que de fato as embalagens são descartadas em grandes quantidades, sendo limitadas as formas de reaproveitamento e considerados críticos os processos para destinação final. Assim, os modelos de vergas produzidas com o reaproveitamento de embalagens de cimento Portland propostos neste trabalho se mostram viáveis para as condições ensaiadas.

Embalagens descartadas foram reaproveitadas em modelos de vergas, os quais foram validados em laboratório para condições específicas. Esses modelos demonstraram a exata redução do consumo de areia e brita, como também viabilidade para a destinação das embalagens de cimento na composição do concreto e na estrutura da verga. Está sendo verificado o desempenho *in loco* de acordo com a situação simulada de vergas adaptadas com embalagens.

Ambientalmente, essa metodologia reduz o consumo de recursos naturais na economia de areia e brita, minimizando a poluição causada na disposição das embalagens ou custos com incineração, tornando-se mais limpa a produção de vergas. Verificou-se também que não há necessidade de maior consumo de cimento Portland para as vergas adaptadas. Outro ganho observado foi a redução da densidade, a qual minimiza o peso próprio do elemento, podendo trazer mais conforto nas condições de trabalhos manuais.

Observa-se que a necessidade do sistema de gestão para reutilização de resíduos sugerido por Nagalli (2014) e o reaproveitamento de resíduos da própria frente de produção sugerido por Addis (2006) podem ser atendidos de acordo com a situação colocada nesta dissertação no processo de produção de vergas para alvenaria não estrutural.

Trabalhos mais aprofundados podem definir um método para análise de viabilidade do reaproveitamento de sacos de cimento na produção de vergas para alvenaria não estrutural com vãos e cargas maiores. A conclusão deste ciclo é um dos métodos propostos em busca de excelência no reaproveitamento das embalagens de sacos de cimento de acordo com o fluxograma da Figura 1.3.

São trabalhos futuros:

- Acompanhamento das vergas aplicadas *in loco*, que será concluído após 2 anos de aplicação.
- Busca de novos métodos para obtenção das fibras para realização de novos ensaios com concreto e meios para retorcer embalagens mecanicamente.
- Definição de modelo matemático e realização de estudos com os resultados de ruptura e deslocamento a fim de estimar a carga máxima da alvenaria sobre a verga, assim como o vão máximo.
- Estudar a deformação do concreto com teor de fibras de acordo com a ABNT NBR 8522:2017 Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão.
- Realização de estudo acerca da aceitação do mercado em relação as vergas adaptadas.
- Reavaliação do sistema de produção das vergas com reaproveitamento das embalagens de cimento Portland.



## REFERÊNCIAS

ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C. **Concreto Armado**: novo milênio, cálculo prático e econômico. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ADDIS, B. **Building with Reclaimed Components and Materials**: A Design Handbook for Reuse and Recycling. Londres: Earthscan, 2006. 224p.

AKASAKI, J. L.; FIORITI, C. F.; NIRSCHIL, G. C. Análise experimental da resistência à compressão do concreto com adição de fibras de borracha vulcanizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Ibracon, CD-ROM

ALVES, L. S. **Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)-Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

AMARAL Jr., J.C; SILVA, L.C.F. Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto. **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, 2017. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v22n1/1517-7076-rmat-22-01-e11780.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. **A Indústria de Pré-Fabricados de Concreto**: informativo de desempenho anual. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Para o ensaio de resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpo-de-prova Cilíndrico. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de Estrutura de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificações. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 8545**: Execução de Alvenaria sem Função Estrutural de Tijolos e Blocos. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 9062**: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos: procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578**: Cimento Portland Composto – Especificações. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 12145**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 12566**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 14001**: Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 15113**: – Resíduo sólido de construção civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação – Terminologia e Requisitos Sistema. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS APARISTAS DE PAPEL. **Relatório Estatístico Anual 2015-2016**. São Paulo, 2016. Disponível em:<  
<http://www.anap.org.br/anap/wp-content/uploads/2016/09/ANAP-Relat%C3%B3rio-Anual-2015-2016.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

BARBOSA, R. P; IBRAIN, F. I. D. **Resíduos Sólidos: Impactos, Manejo e Gestão Ambiental**. São Paulo: Érica, 2014. 176p.

BATAYNEH, M., MARIE, I.; ASI, I. Use of selected waste materials in concrete mixes. **Waste Management**. V. 27, n. 12, 2007. Disponível em:<  
<https://pdfs.semanticscholar.org/0100/c0f07dc0b30a587bafae3cfa3e465054d887.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

BOTELHO, M.H.C. **Resistência dos Materiais: para entender e gostar**. 3.ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em:  
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em 03 jan. 2017.

BRITO, A.L.F.; SOARES, S.R. Avaliação da integridade e da retenção de metais pesados em materiais estabilizados por solidificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, 2009. Disponível em:<  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522009000100005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000100005)>. Acesso em: 19 jun. 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Banco de Dados**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br>>. Acesso em 03 jan. 2018.

CAVALCANTE, J. P.; MATTIAS, L. W. A.; SILVA, M. M.; ALMEIDA, I. P. Introdução de alvéolos de garrafas pet – polietileno de tereftalato de 500 ml em mourões de concreto armado para cercas de arame farpado. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 3., 2016, Foz do Iguaçu. Disponível em: <<http://www.confea.org.br/media/contecc2016/civil/introdu%C3%A7%C3%A3o%20de%20alv%C3%A9olos%20de%20garrafas%20pet%20-%20polietileno%20de%20tereftalato%20de%20500%20ml%20em%20mour%C3%B5es%20de%20concreto%20armado%20para%20cercas%20de%20arame%20farpado.pdf>>. Acesso em 03 jan. 2017.

CAVALHEIRO, A.P. **Contribuição para implementação de agregado reciclado de concreto em uma empresa de pré-fabricados**. Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução Nº 307**, de 05 de julho de 2002. Brasília, 2001.

CUNHA JUNIOR, N. B. **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil**. SINDUSCON-MG, 2005, 38p.

DEMIR, I.; BASPINAR M.S.; ORHAN, M. Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. **Building and Environment**. V. 40, n. 11, nov 2005. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/229416623\\_Utilization\\_of\\_Kraft\\_Pulp\\_Production\\_Residues\\_in\\_Clay\\_Brick\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/229416623_Utilization_of_Kraft_Pulp_Production_Residues_in_Clay_Brick_Production)>. Acesso em: 05 fev. 2018.

DEMOGRAPHIA. **Demographia World Urban Areas**. 14 ed. Abril, 2018. Disponível em: <<http://www.demographia.com/db-worldua.pdf>> , Acesso em 10 de Abr. 2018.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. EESC. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2000.

GAO, W.; ARIYAMA, T.; OJIMA, T.; MEIER, A. Energy impacts of recycling disassembly material in residential buildings. **Energy and Buildings**. V. 33, n. 6, jul 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778800000967?showall%3Dtrue%26via%3Dihub>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

GOOGLE. Google Maps. 2018. Premol. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Premol/@-9.4254845,-36.6220736,670m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x7065f95c4ee853d:0xa8d8e234927da743!8m2!3d-9.4254845!4d-36.6198849>>. Acesso em: 22 mar. 2018

HOLANDA Jr., O.G. **Influência de recalques em edifícios de alvenaria estrutural**. 2002. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/paic/2013/default.shtm>>. Acesso em 22 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. Informativo econômico, 6ª ed, 2015.

KANELLOPOULOS, A.; NICOLAIDES, D.; PETROU, M. F. Mechanical and durability properties of concretes containing recycled lime powder and recycled aggregates. **Construction and Building Materials**. Philadelphia, n. 53, p. 253-259, fev. 2014.

KHORAMI, M.; GANJIAN, E. The effect of limestone powder, silica fume and fibre content on flexural behaviour of cement composite reinforced by waste Kraft pulp. **Construction and Building Materials**, n. 46, 2013, p. 142–149.

LI, M.; KUHLEN, A.; YANG, J.; SCHULTMANN, F. Improvement of the statutory framework for construction and demolition waste management exemplified in Germany and Australia. In Urban Environment: Proceedings of the 11th Urban Environment Symposium (UES), Karlsruhe, Germany, 15-25, 2013.

LIMA, R. S. **Aproveitamento de Resíduos de Construção na Fabricação de Argamassas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba - CT. João Pessoa, 2005.

LIMA, J. A. R. de. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

LOMBARDI FILHO, P. **Modelo de destinação de resíduos da construção civil baseado na análise da infraestrutura e legislação do município de São Paulo**. 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LU, W.; TAM, V. W. Y. Construction waste management policies and their effectiveness in Hong Kong: A longitudinal review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 23, 214–223, 2013.

MÁRMOL, G.; SANTOS, S.F.; SAVASTANO JR. H.; BORRACHEROA, M.V.; MONZÓA J.; PAYÁA J. Mechanical and physical performance of low alkalinity cementitious composites reinforced with recycled cellulosic fibres pulp from cement kraft bags. **Industrial Crops and Products**. 49 (2013) 422–427

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamento de obras: dicas para orçamentista, estudo de caso, exemplos**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

MÉXICO. Secretaría del Medio Ambiente. Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2020. Ciudad de Mexico, 2016. Disponível em:< <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

MINISTÉRIOS DAS CIDADES. **Regimento Geral do Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAC)**. Brasília, 2017.

MODRO, N.L.R., **Desenvolvimento e Caracterização de Concreto de Cimento Portland Contendo Resíduos Poliméricos de PET**. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2008.

MOHR, B.J.; NANKO, H.; KURTIS, K.E. Durability of kraft pulp fiber–cement composites to wet/dry cycling. **Cement and Concrete Composites**. V. 27, n. 4, abr 2005. Disponível em: <<http://www.usp.br/constrambi/supplementary%20reading/Durability%20of%20kraft%20pulp%20fibre-cement%20composites%20to%20wet-dry%20cycling.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2014, 176f.

NAKAMURA, Y. Waste Management and Recycling Business. In: The United States and Japan. Program on U.S. Japan Relations Harvard University. Cambridge, 2007.

ORDEN JURICO. proy-nadf-007-rnat-2013 - clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición, en el distrito federal. Disponível em: <<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Distrito%20Federal/wo97774.pdf>>. Acesso em 26 fev.2018.

PANYAKAPO, P.; PANYAKAPO, M. Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete. **Waste Management**, v. 28, n. 9, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07002644>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto e Construções**. Ibracon. n. 53, p.14-19, jan, fev, mar. 2009.

PINIWEB. **Sinduscon-MG lança a 3ª edição da cartilha alternativas para a destinação de resíduos da construção civil**. Disponível em: <<http://cm.pini.com.br/2018/01/sinduscon-mg-lanca-3a-edicao-da-cartilha-alternativas-para-a-destinacao-de-residuos-da-construcao-civil/>>. Acesso em 27 fev.2018

PORTAL AECWEB. **Manta de papel kraft com plástico bolha protegeu piso em reforma**. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/prod/cont/m/salva-piso\\_20703\\_22962\\_16466](https://www.aecweb.com.br/prod/cont/m/salva-piso_20703_22962_16466)>. Acesso em 18 mar 2018.

PORTAL ABCP. **O cimento pode causar algum mal a saúde?**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/o-cimento-pode-causar-algum-mal-a-saude>>. Acesso em 17 set 2017.

PORTAL ABRECON. **Construção civil sustentável**. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/construcao-civil-sustentavel/>. Acesso em 06 set 2017.

PORTAL CIMENTO.ORG. **Maiores produtores de cimento no mundo**. Disponível em: <<http://cimento.org/maiores-produtores-mundiais-de-cimento>>. Acesso em 26 fev. 2018.

Portland Cement Association. **Life Cycle Inventory of Portland Cement Manufacture**. Disponível em: <<http://www.cement.org>>. Acesso em 22 ago. 2017.

RAAD, H. J.; CANDIDO, M.P.C; ESTEVÃO, F.V; SOUZA, S.A; JESUS, H. X. Reaproveitamento de papel de embalagens de cimento na produção de manta asfáltica impermeabilizante. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. **Artigo científico**...Disponível em: <<http://docplayer.com.br/29603887-Reaproveitamento-de-papel-de-embalagens-de-cimento-na-producao-de-manta-asfaltica-impermeabilizante.html>>. Acesso em 27 abr. 2018.

RAUT, S.P.; RALEGAONKAR, R.V.; MANDAVGANE, S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 10, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811001784#!>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

SANTOS, L. R.; CARVALHO, P. E. F. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Cimento no Mundo**. Disponível em: <<http://cimento.org/cimento-no-mundo>>. Acesso em 27 abr. 2017.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Consumo Aparente de Cimento por Regiões e Estados**. Disponível em: <<http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1522239930.pdf>>. Acesso em 27 abr. 2018.



SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Consumo de Cimento**. Disponível em: <<http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1516895390.pdf>>. Acesso em 17 fev. 2018.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório Anual 2013**. Rio de Janeiro: SNIC, 2013.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DA BAHIA. **Responsabilidade Social**. Disponível em: <<http://www.sinduscon-ba.com.br/responsabilidade-social/index.html>>. Acesso em 26 fev.2018.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO DE MINAS GERAIS. **Alternativas para a destinação de resíduos da construção civil**. 3. ed. Belo Horizonte: Sinduscon-MG, 2014.

SINGH, L.R.; SALEEM, A.; GEETA, B. Application of Paper Waste in Cement Concrete. Int. **Journal of Engineering Research and Applications**. Vol. 5, Issue 4, ( Part -7) April 2015, pp.95-98.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DE CONSTRUÇÃO CIVIL. Disponível em: <<https://www.sipci.caixa.gov.br/SIPCI/servlet/TopController>>. Acesso em 21 set. 2017.

SCHMAL, A. K.; AVILA, M. **Projeto Construa Limpo**. Artigo Técnico Científico, 2008.

SILVA, R.V.; BRITO, J.; EVANGELISTA, L.; DHIR, R.K. Design of reinforced recycled aggregate concrete elements in conformity with Eurocode 2. **Construction and Building Materials**. 2015. Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016. n.105.p. 144-156.

SOARES, D.; BRITO, J.; FERREIRA, J.; PACHECO, J. In situ materials characterization of full -scale recycled aggregates concrete structures. **Construction and Building Materials**, Lisboa, nº 71, p. 237-245, 2014.

SUTER, G. T.; KELLER, H. Shear Strength of Reinforced Masonry Beams and Canadian Code Implications. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 1., Calgary, 1976. **Proceedings...** Calgary, 1976

TCPO. **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 13. ed. São Paulo: Pini, 2010. 640p.

TEIXEIRA, O.; GUEDES, R.; MARQUES, A.; MATOS, S.; SILVA, F. G.; GONÇALVES, J. Aderência da argamassa de reparo ao substrato: método e avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais..** Bento Gonçalves: IBRACON, 2017. Disponível em:<<http://www.ibracon.org.br/eventos/59cbc/artigos/59cbc/artigos>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

TOPÇU, I. B., CANBAZ, M. Properties of concrete containing waste glass. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 1, p. 267-274, 2004.

TORKITTIKUL, P.; CHAIPANICH, A. Utilization of ceramic waste as fine aggregate within Portland cement and fly ash concretes. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 6, jul 2010. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/248504696\\_Utilization\\_of\\_ceramic\\_waste\\_as\\_fine\\_aggregate\\_within\\_Portland\\_cement\\_and\\_fly\\_ash\\_concretes](https://www.researchgate.net/publication/248504696_Utilization_of_ceramic_waste_as_fine_aggregate_within_Portland_cement_and_fly_ash_concretes)>. Acesso em: 27 mar. 2018.

VIEIRA, M.P. **Fundamentos de Incineração**. São Paulo: Gregory, 2012.

WANG, Y.; WU, H. C.; LI, V. C. Concrete Reinforcement with Recycled Fibers. **Journal of Materials in Civil Engineering**. V. 12, n. 4, nov 2000. Disponível em:< [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2000\)12:4\(314\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0899-1561(2000)12:4(314))>. Acesso em: 05 fev. 2018.

YEHEYIS, Muluken; HEWAGE, Kasun; ALAM, M. Shahria; ESKICIOGLU, Cigdem; SADIQ, Rehan. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Techn Environ Policy*, 2013. p. 81-91.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A – GUIAS INTERNACIONAIS DE REFERÊNCIA PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

Guia de referência	Ano	País
1. <i>Niederösterreichischer Abfall Wirtschafts Plan 2010 –2015</i>	2010	Alemanha
2. <i>Programme for the Implementation of the National Waste Management Strategy</i>	2011	África do Sul
3. <i>Preparing a Waste Management Plan</i>	2012	Países da Comissão Europeia
4. <i>Construction Waste Management Plan</i>	2012	Irlanda
5. <i>Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)</i>	2012	Equador
6. <i>Waste Management Plan 2013-2015</i>	2013	Austrália
7. <i>Guía para la Formulación, Implmentación, Evoluación, Seguimiento, Control y Actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos</i>	2015	Colômbia
8. <i>A Guide to Solid Waste Management Planning</i>	2016	Canadá
9. <i>Plan de Gestion des Déchets</i>	2016	Suiça
10. <i>Guía para la Formulación de un Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales – PGIRSM</i>	2017	República Dominicana

## **APÊNDICE B – NORMAS TÉCNICAS E JURÍDICAS COMPLEMENTARES BÁSICAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PGRCC NO BRASIL**

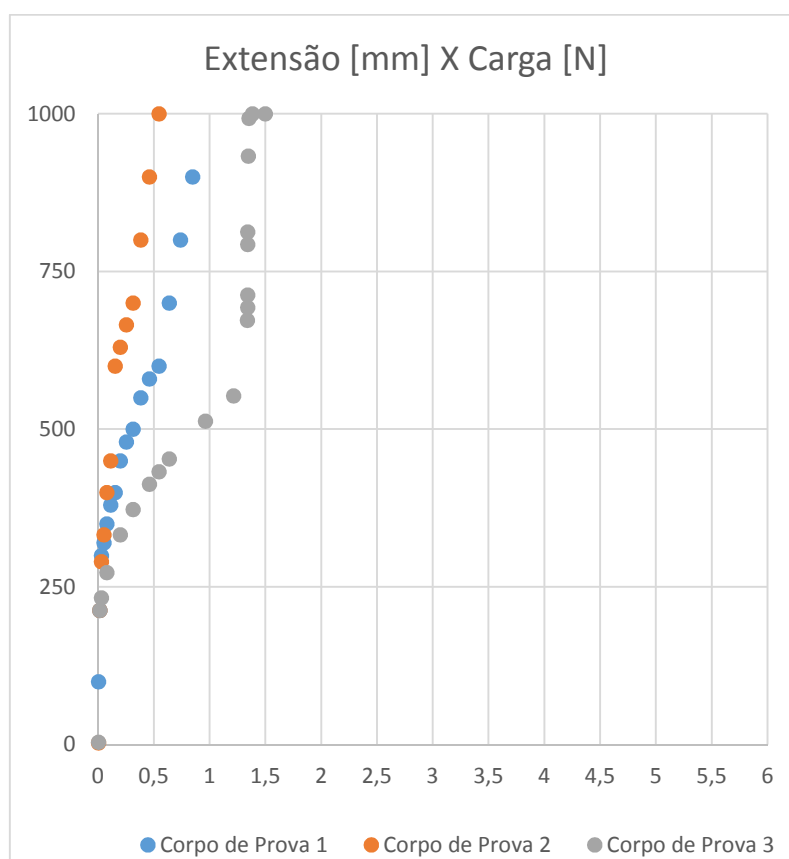
- Constituição Federal (1988). Título VIII – Da Ordem Social, Capítulo VI – Do Meio Ambiente.
- Lei nº 9.605, de 15 de fevereiro de 1998 – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências;
- Resolução CONAMA nº. 1, de 23 de janeiro de 1986 – Critérios básicos e diretrizes gerais para o uso e implementação da avaliação de impacto ambiental;
- Resolução CONAMA nº. 1-A, de 23 de janeiro de 1986 – Dispõe sobre transporte de produtos perigosos em território nacional;
- Resolução CONAMA nº. 2, de 18 de abril de 1996 – Determina a implantação de unidade de conservação de domínio público e uso indireto, preferencialmente Estação Ecológica, a ser exigida em licenciamento de empreendimentos de relevante impacto ambiental, como reparação dos danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, em montante de recursos não inferior a 0,5 % (meio por cento) dos custos totais do empreendimento.
- Resolução CONAMA nº. 5, de 5 de agosto de 1993 – Estabelece definições, classificação e procedimentos mínimos para o gerenciamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários.

- Resolução CONAMA nº. 275, de 25 de abril de 2004 – Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.
- Resolução CONAMA nº. 313, de 29 de outubro de 2002 – Estabelece o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.
- Resolução CONAMA 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 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA nas definições de: Aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros, área de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos, gerenciamento de resíduos sólidos, gestão integrada de resíduos sólidos.
- NBR 10.007:2004 – Amostragem de resíduos sólidos.
- NBR 11.174:1990 – Armazenamento de resíduos classes II – não inertes e III – inertes.
- NBR 12.235:1992 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos.
- NBR 12.980:1993 – Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos.
- NBR 13.463:1995 – Coleta de resíduos sólidos.
- NBR 13.896:1997 – aterro de resíduos não perigosos: critérios para projetos, implantação e operação: procedimento;

- NBR 15.112:2004 – Resíduo sólido de construção civil e resíduos volumosos. Áreas de transbordo e triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15.114:2004 – Resíduo sólido de construção civil. Áreas de reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15.115:2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação: procedimentos.

## APÊNDICE C – REGISTRO DO DESLOCAMENTO (EXTENSÃO) EM FUNÇÃO DAS CARGAS INICIAIS APLICADAS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO NA FLEXÃO DAS VERGAS

### C.1 – CORPOS DE PROVA - VERGAS TIPO A

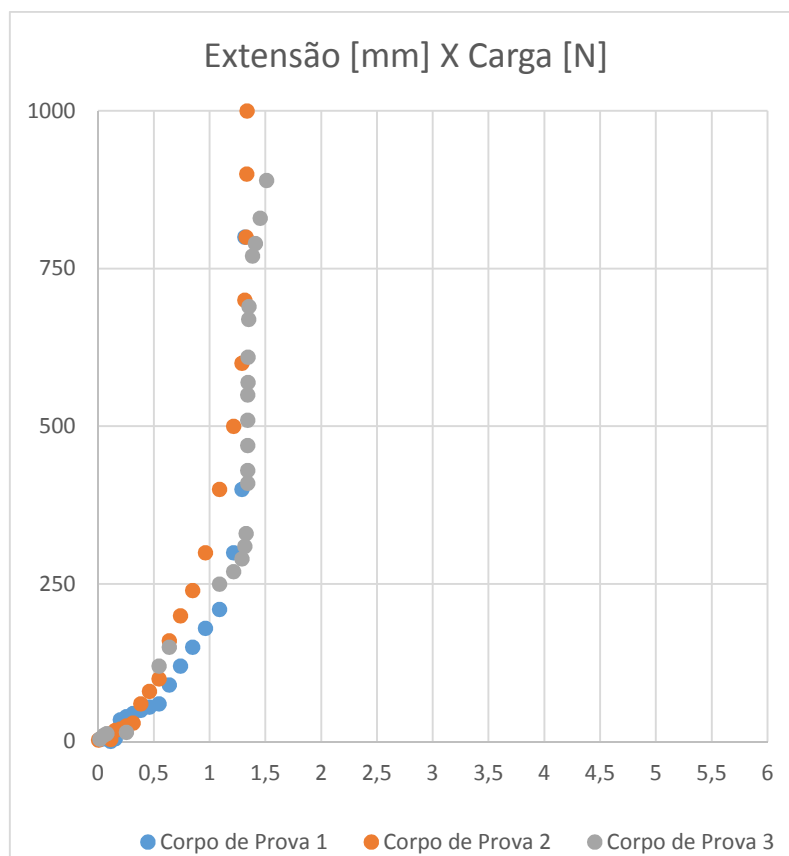


#### DADOS PARA CARGA DE 213N

Nº corpo de prova	Tempo (s)	Extensão (mm)
1	2,3	0,01
2	2,0	0,01
3	4,4	0,02



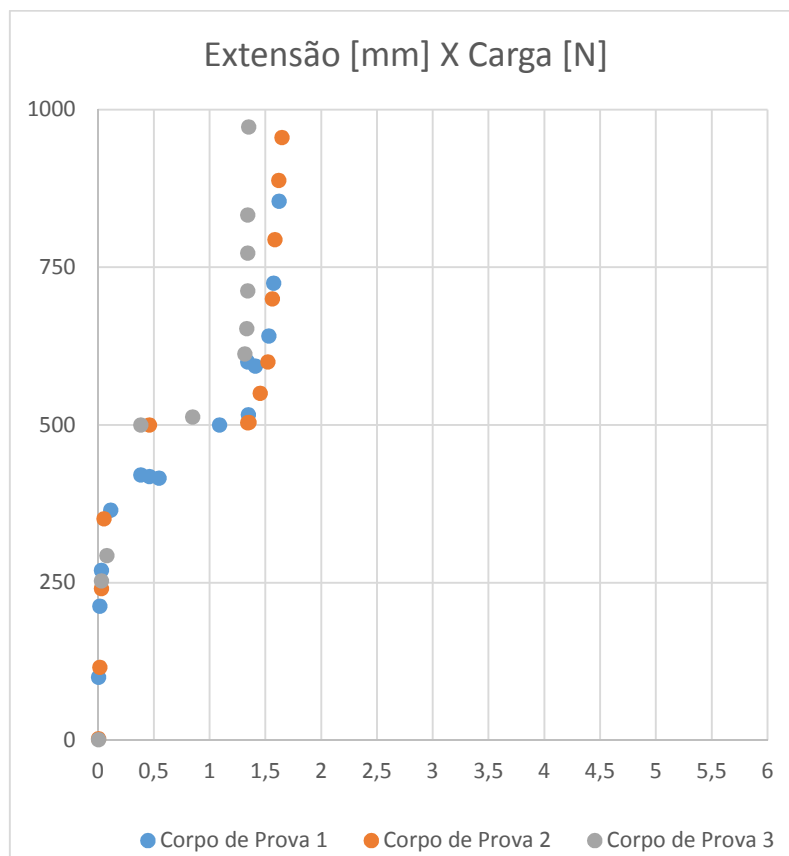
## C.2 – CORPOS DE PROVA -VERGA TIPO B



## DADOS PARA CARGA DE 213N

Nº corpo de prova	Tempo (s)	Extensão (mm)
1	3,3	1,10
2	3,2	0,70
3	3,9	0,91

### C.3 – CORPOS DE PROVA - VERGA TIPO C



#### DADOS PARA CARGA DE 213N

Nº corpo de prova	Tempo (s)	Extensão (mm)
1	3,3	0,20
2	3,2	0,27
3	4,3	0,22

## APÊNDICE D – FORMULÁRIO PARA REGISTRO DE INSPEÇÃO DA APLICAÇÃO IN LOCO

Ficha de Verificação da Aplicação in loco

Amostragem: I ( ) II ( ) III ( )

Itens Avaliados	Forma de inspeção	Referência	1ª Verificação (opcional)	2ª Verificação (opcional)	Verificação final (após 2 anos)
1. Presença de fissuras e trincas.	Visual	Sem fissuras e trincas	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende
2. Deslocamento no meio do vão.	Com mangueira de nível de 3/8" e trena metálica de 5m	2,4mm	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende
3. Estabilidade da aplicação.	Visual	Estável	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende	<input type="checkbox"/> Atende <input type="checkbox"/> Não atende

**UFBA**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**

**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI**

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA  
CEP: 40.210-630  
Telefone: (71) 3283-9800  
E-mail: [pei@ufba.br](mailto:pei@ufba.br)  
Home page: <http://www.pei.ufba.br>

