

FARO - Faculdade de Rondônia  
788 (Decreto Federal nº 96.577 de 24/08/1988)  
453 (Portaria MEC de 29/04/2010)  
IJN - Instituto João Neóricio  
3443 (Portaria MEC / Sesu nº369 de 19/05/2008)



**FACULDADE DE RONDÔNIA – FARO**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**SIGUIMAR FRANCISCO DA CRUZ**

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  
“ENTULHOS DE OBRAS” NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS A  
SER UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE CALÇADAS.**

**PORTO VELHO - RO**

**2014.2**

FARO - Faculdade de Rondônia  
788 (Decreto Federal nº 96.577 de 24/08/1988)  
453 (Portaria MEC de 29/04/2010)  
IJN - Instituto João Neóricio  
3443 (Portaria MEC / Sesu nº369 de 19/05/2008)



**FACULDADE DE RONDÔNIA – FARO**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**SIGUIMAR FRANCISCO DA CRUZ**

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  
“ENTULHOS DE OBRAS” NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS A  
SER UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE CALÇADAS.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Rondônia - FARO, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a Orientação da Prof. Esp. HELVIO DE OLIVEIRA PANTOJA.

**PORTO VELHO - RO**

**2014.2**

**SIGUIMAR FRANCISCO DA CRUZ**

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  
“ENTULHOS DE OBRAS” NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS A  
SER UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DE CALÇADAS.**

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados, na data de 09/12/2014.

---

**Prof.<sup>a</sup> MARIA ANGÉLICA FOES DA ROCHA  
COORDENADORA DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

---

**Prof. HELVIO DE OLIVEIRA PANTOJA  
ORIENTADOR (A)**

---

**Prof. ANA CRISTINA SANTOS STRAVA  
EXAMINADOR (A)**

---

**Prof. TULIO JOSÉ DE SOUSA  
EXAMINADOR (A)**

**PORTO VELHO - RO**

**2014.2**

## DEDICATÓRIA

- ✓ Primeiramente a Deus por te me guiando por toda minha vida.
- ✓ Aos meus pais que me serviram de inspiração para esta jornada árdua porem gratificante.
- ✓ A minha esposa Marilda Ambrósio e as minhas filhas Leticia Isabelly Ambrósio da Cruz, Rafaelly Nonato da Cruz e Julia Rafaela Ambrósio Santos pela compreensão, nos momentos em que estive distante durante a jornada da faculdade. Objetivando a ampliação de meus conhecimentos.

## **AGRADECIMENTOS**

✓ Agradeço primeiramente Deus pela força, saúde e sabedoria e por ter me guiado durante toda minha vida.

✓ A minha mãe Guilhermina Viana da Cruz, e ao meu falecido pai Sebastião Francisco da Cruz que hoje encontra - se no céu, mesmos sem estudos me ensinaram a respeitar as pessoas e principalmente ter humildade.

✓ Aos meus irmãos e minha esposa Marilda Ambrósio e a minha filha Letícia Isabelly Ambrósio da Cruz, Rafaelly Nonato da Cruz e minha enteada Julia Rafaela Ambrósio dos Santos, pela paciência e compreensão nos momentos em que estive distante durante a jornada de faculdade.

✓ Ao CREA-RO, através do presidente Nélio Alzenir Alfonso Alencar por ter me apoiado e contribuído financeiramente com a minha profissão.

✓ Ao professor orientador, Helvio de Oliveira Pantoja por ter aceitado a me orientar e auxiliar na construção e realização da minha monografia.

✓ Agradeço aos funcionários da FARO, a coordenação e principalmente aos queridos professores pela dedicação, compreensão e paciência e por ter contribuído diariamente com a minha formação.

## EPÍGRAFE

“Sempre que pensamos em mudar, queremos tudo o mais rápido possível. Não tenha pressa, pois as pequenas mudanças são as que mais importam. Por isso, não tenha medo de mudar lentamente, tenha medo de ficar parado”.

***(Provérbio Chinês)***

## RESUMO

A construção civil é uma das atividades de grande importância no desenvolvimento da economia nacional, tida como uma das principais fontes de geração de resíduos sólidos, definida como uma das atividades que mais impacta o meio ambiente em virtude de grande quantidade de entulho de obras depositado de forma irregular nas vias públicas, rios, córregos e terrenos baldios, causando vários riscos à saúde da população através de atração de transmissores de doenças.

Este trabalho visa apresentar uma alternativa de reaproveitamento por meio da reciclagem de entulhos da construção e demolição, transformando em agregado miúdo reciclado para substituir partes de agregado natural, com ênfase na fabricação de blocos intertravados tipo paver, a ser utilizado na construção de calçadas ecológica e sustentável.

Por meio de ensaio realizado com o entulho reciclado, observou-se que o mesmo apresentou resistência a compressão compatível para a reutilização na construção de calçadas.

**Palavras-chave:** Reaproveitamento, Reciclagem de entulho, Paver com (RCD).

## **ABSTRACT**

The construction industry is one of the very important activities in the development of the national economy, considered one of the main sources of solid waste generation, defined as one of the activities that will affect the environment due to large amount of construction waste deposited irregularly on public roads, rivers, streams and vacant lots, causing various health risks to the population through attraction of disease vectors.

This work aims to present a reuse of alternative through recycling of construction waste, construction and demolition, turning into recycled aggregate kid to replace parts of natural aggregate, with emphasis on manufacturing interlocking paver blocks type to be used in the construction of sidewalks and ecological sustainable.

Through performed with recycled slag test, it was found that it had compressive strength compatible for reuse in the construction of sidewalks.

**Keywords:** Reuse, Recycling rubble, with Paver (RCD).

## **LISTA DE SIGLAS**

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

RCD - Resíduos de construção e demolição

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza e Resíduos Especiais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RCC - Resíduos da Construção Civil

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Técnica Brasileira

SEMUSB - Secretaria Municipal de Serviços Básicos

Mpa - Mega Pascal

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland.

CP IV-32 RS: Cimento Portland 32 Mpa aos 28 dias, Resistente ao Sulfato.

Fc28: Resistências característica do concreto na idade de 28 dias.

Fck: Resistência característica do concreto.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Entulho de obra numa reforma residencial em Porto Velho RO, 2014.....   | 19 |
| Figura 2 - Entulho de obra depositados em locais irregulares, 2014.....  | 20 |
| Figura 3 - Entulho de obra depositado em locais irregulares, 2014 .....  | 20 |
| Figura 4 - Intertravamento horizontal .....  | 30 |
| Figura 5 - Intertravamento vertical.....   | 30 |
| Figura 6 - Intertravamento rotacional .....  | 30 |
| Figura 7 - Estrutura de pavimento intertravados .....  | 31 |
| Figura 8 - Local onde foi coletado o entulho de obra .....   | 33 |
| Figura 9 - Reforma residencial .....   | 33 |
| Figura 10 - (a) Separação seletiva (b) Reciclador de entulho (c) Agregado miúdo(d)<br>Agregado graúdo. ....              | 34 |
| Figura 11 - (a) Lavagem dos materiais (b) Agregado graúdo (c) Peneira 4,75mm (d)<br>Balança.....                         | 39 |
| Figura 12 - (a) Colocação da areia no frasco (b) Retirada de bolha de ar .....   | 40 |
| Figura 13 - (a) Densidade aparente (b) Enchimento do recipiente.....   | 41 |
| Figura 14 - (a) Forma de aço,(b) Betoneira .....   | 43 |
| Figura 15 - Entulho de obra.....   | 46 |
| Figura 16 - (a) Agregado graúdo reciclado (b) Agregado miúdo reciclado .....   | 47 |
| Figura 17 - (a) estufa (b) agregado submerso (c) pesagem do agregado submerso<br>(d ) secagem do agregado com pano. .... | 51 |
| Figura 18 - (a) Frasco Chapman, (b) Balança .....  | 52 |
| Figura 19 - Massa unitária de agregados no estado solto.....   | 53 |
| Figura 20 - (a) Traço com 25% (b) 50% (c) 75% (d) 100% .....   | 55 |
| Figura 21 - (a) Fabricação do paver (b) Mistura do material na betoneira .....   | 56 |
| Figura 22 - (a) Bloco paver (b) Rompimento do corpo de provas.....   | 58 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 - Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil.....      | 23 |
| Gráfico 2 - Quantidade em (ton). de entulho coletado em Porto Velho, em 2013. ... | 24 |
| Gráfico 3 - Composição granulométrica do agregado graúdo reciclado.....           | 48 |
| Gráfico 4 - Composição granulométrica do agregado miúdo reciclado. ....           | 49 |
| Gráfico 5 - Resistências à compressão dos blocos aos 28 dias de idade.....        | 57 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Classificação dos resíduos da construção civil .....               | 21 |
| Quadro 2 - Resultado dos materiais para definição do traço.....               | 42 |
| Quadro 3 - Resultado da massa específica do agregado graúdo reciclado. ....   | 50 |
| Quadro 4 - Resultado da massa unitária do agregado miúdo no estado solto..... | 52 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Fator multiplicativo “p” .....                                      | 45 |
| Tabela 2 - Traço de concreto com 100% de agregado miúdo reciclado .....        | 53 |
| Tabela 3 - Traço de concreto com 75% de agregado miúdo reciclado .....         | 54 |
| Tabela 4 - Traço de concreto com 50% de agregado miúdo reciclado .....         | 54 |
| Tabela 5 - Traço de concreto com 25% de agregado miúdo reciclado .....         | 54 |
| Tabela 6 - Resistências dos corpos de provas na idade de 28 dias de cura. .... | 56 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 16 |
| 1.1 Definições de resíduos da construção civil.....                            | 17 |
| 1.2 Resíduos sólidos da construção civil e demolição – RCD.....                | 18 |
| 1.3 Classificações dos resíduos sólidos da construção civil .....              | 21 |
| 1.4 Panoramas dos resíduos da construção e demolição no Brasil .....           | 22 |
| 1.5 Reciclagens dos resíduos de construção e demolição.....                    | 25 |
| 1.5.1 Importância da Reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição. ....   | 25 |
| 1.5.2 Principais aplicações dos resíduos de construção e demolição – RCD. .... | 26 |
| 1.5.2.1 Uso em Pavimentação. ....  | 26 |
| 1.5.2.2 Utilização como agregado para concreto .....                           | 27 |
| 1.5.2.3 Utilização como agregado para argamassa. ....                          | 27 |
| 1.6 Reaproveitamentos de entulho de obra para fabricação de bloco Paver. ....  | 27 |
| 1.6.1 Vantagem do pavimento intertravado na construção de calçadas.....        | 28 |
| 1.6.2 Técnica de execução de calçadas com blocos intertravados.....            | 28 |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....   | 32 |
| 2.1 Objetivo Geral .....   | 32 |
| 2.2 Objetivos específicos .....  | 32 |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | 33 |
| 3.1 Coleta dos Resíduos .....  | 33 |
| 3.2 Separar e triturar o entulho.....  | 34 |
| 3.3 Análise da resistência à compressão do bloco paver .....                   | 35 |
| 3.3.1 Composição Granulométrica do agregado graúdo reciclado.....              | 35 |
| 3.3.1.1 Amostra.....   | 35 |
| 3.3.1.2 Equipamentos .....   | 35 |
| 3.3.1.3 Procedimentos .....  | 35 |
| 3.3.2 Composição Granulométrica do agregado miúdo reciclado .....              | 36 |
| 3.3.2.1 Amostra.....   | 36 |
| 3.3.2.2 Equipamentos .....   | 36 |
| 3.3.2.3 Procedimentos .....  | 36 |
| 3.3.3 Massa específica e absorção de agregado graúdo. ....                     | 37 |
| 3.3.3.1 Amostra.....   | 37 |
| 3.3.3.2 Equipamentos .....   | 38 |
| 3.3.3.3 Procedimentos .....  | 38 |
| 3.3.4 Determinação da massa específica do agregado miúdo frasco de Chapman..   | 39 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.4.1 Amostra.....  | 39        |
| 3.3.4.2 Equipamentos .....  | 39        |
| 3.3.4.3 Procedimentos .....                                       | 40        |
| 3.3.5 Massa Unitária de agregado miúdo no estado solto. ....      | 40        |
| 3.3.5.1 Amostra.....  | 41        |
| 3.3.5.2 Equipamentos .....  | 41        |
| 3.3.5.3 Procedimentos .....                                       | 41        |
| 3.3.6 Definição do traço para confecção do bloco paver.....       | 42        |
| 3.3.7 Processo de produção do paver.....                          | 43        |
| 3.3.8 Ensaio de resistência à compressão do Paver.....            | 44        |
| 3.3.8.1 Amostra.....  | 44        |
| 3.3.8.2 Equipamentos .....  | 44        |
| 3.3.8.3 Procedimentos .....                                       | 44        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                             | <b>46</b> |
| 4.1 Coleta dos Resíduos .....                                     | 46        |
| 4.2 Separar e triturar o entulho.....                             | 46        |
| 4.3 Análise das resistências à compressão do bloco Paver.....     | 47        |
| 4.3.1 Composição Granulométrica do agregado graúdo reciclado..... | 47        |
| 4.3.2 Composição Granulométrica do agregado miúdo reciclado. .... | 49        |
| 4.3.3 Massa específica e absorção de agregado graúdo .....        | 50        |
| 4.3.4 Determinação da Massa específica do agregado miúdo. ....    | 51        |
| 4.3.5 Massa Unitária de agregado miúdo no estado solto .....      | 52        |
| 4.3.6 Determinação do traço para confecção do bloco Paver .....   | 53        |
| 4.3.7 Processo de produção do Paver .....                         | 55        |
| 4.3.8 Ensaio de resistência à compressão. ....                    | 56        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                               | <b>59</b> |
| <b>6 PERSPECTIVAS .....</b>                                       | <b>60</b> |
| <b>7 REFERENCIAS.....</b>   | <b>61</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a construção civil vem apresentando uma posição de destaque na economia nacional, com base neste crescimento, a construção civil apresenta grande quantidade de resíduos sólidos, sendo um dos principais problemas enfrentados pela população nas áreas urbanas, causando grandes impactos ambientais, sociais e econômicos, gerado pela quantidade expressiva de entulhos de obras.

Segundo John, (2001), em sua pesquisa, afirma que no Brasil a maior contribuição para os impactos ambientais, decorre de vários fatores, dentre os quais ainda se encontra o enorme peso do setor da construção civil.

A construção civil é uma das atividades de grande importância no desenvolvimento econômico e social do país, por outro lado, comporta-se ainda como um dos principais geradores de impacto ambientais.

A lei federal de Política Nacional De Resíduos Sólidos (PNRS) nº 12.305/2010 foi instituída com a finalidade de regulamentar a gestão adequada dos resíduos sólidos, dentre os quais os resíduos da construção civil.

Com a redação da Resolução nº 307, 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), tem como finalidade definir a responsabilidades e deveres dos geradores, dos transportadores, justificando um novo sistema de gestão, no qual obriga os geradores a reduzir, reutilizar e reciclar, tratar e dispor os resíduos de construção e demolição (RCD) (Brasil, 2002).

Hoje a forma que os resíduos são descartados, ou seja, depositados irregularmente nas vias públicas, rios, córregos, terrenos baldios e área de mananciais, podem trazer serio riscos à saúde da população através de atração de transmissores de doenças, entupimento de bueiros, canais entre outros, implicam no aumento das enchentes em alguns locais na época das estações chuvosas, causando várias alagações.

A geração dos resíduos da construção civil e a disposição inadequada deste material apresentam grandes impactos negativos ao meio ambiente e a saúde pública. (Jacobi; Besen, 2006),

De acordo com a pesquisa realizada pela ABRELPE e IBGE em 2012, apresenta o quantitativo dos resíduos de construção civil e demolição de obras

coletados no país, onde foram levantadas as quantidades de 112.248 toneladas dias.

Esta pesquisa tem como principal objetivo o reaproveitamento e a reciclagem de entulhos da construção e demolição de obras, transformando agregado miúdo reciclado para substituição de agregado miúdo natural, com ênfase na fabricação de bloco intertravados tipo paver, a serem utilizados na construção de calçadas ecológica e sustentável na cidade de Porto Velho- RO.

### 1.1 Definições de resíduos da construção civil

Os resíduos da construção civil representa um grave problema em muitas cidades, a disposição irregular deste material pode gerar grandes impactos ambientais, problemas de ordem estética, e de saúde pública.

A construção civil é uma das atividades que mais impacta o meio ambiente, em virtude de grande quantidade gerada de resíduos, paralelamente a isso, alguns autores denominaram os resíduos da construção civil como sendo entulho:

Entulho significa calça, pedregulho, areia, terra, tudo quanto sirva para entupir, aterrar, nivelar depressão de terreno, escavação, fossa, vala, etc.; conjunto de fragmentos ou restos de tijolos, argamassa, madeira, etc., proveniente da construção de um prédio; materiais inúteis resultante de demolição; escombros, ruínas (Ferreira, 1999).

Sendo assim, a resolução do CONAMA 307, de 5 de julho de 2002, é considerada o principal marco regulatório da gestão de RCC e RCD, dispõe sobre a responsabilidade dos municípios em implementar seus planos de gerenciamento integrado de resíduos da construção civil, bem como as diretrizes, critério e procedimentos para o manejo adequado, em seu artigo 2º inciso I, o próprio marco regulatório define os resíduos de construção civil como:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha (Brasil, 2002).

De acordo com o previsto no Art. 13, inciso I, alínea h, da Lei 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, definiu o termo resíduo da construção civil, sendo considerado como os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.

Demajorovic, (1995), define a diferença de resíduos sólidos do lixo, segundo o autor, o lixo não possui qualquer tipo de valor, já que é aquilo que pode ser descartado, enquanto os resíduos sólidos possui valor econômico por possibilitar o reaproveitamento de forma sustentável e ecológico.

Devido ao grande crescimento do setor da construção civil, os resíduos gerados em muitas cidades brasileiras, giram em torno de 61% dos resíduos urbanos em quantidade de massa. (Pinto, 2005),

A Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, na qual, determina que o gerador de resíduos sólidos da construção civil, tornou-se o responsável pela segregação, devendo encaminhá-lo para reciclagem ou disposição final, a própria resolução também proíbe o envio de entulho de obras para os aterros sanitários.

Uma das Soluções mais adequada para redução dos impactos ambientais, gerados pela quantidade expressiva de entulho da construção civil, se inicia com o reaproveitamento do resíduo tipo classe A, tornando um produto de forma ecológica e sustentável, com a reciclagem destes materiais, pode-se fabricar blocos Intertravados tipo paver, para ser utilizado nas construções de calçadas padronizadas, com a função de viabilizar acessibilidade à população de forma segura e melhorando esteticamente a imagem visual das calçadas e passeios públicos na cidade de Porto Velho RO.

## 1.2 Resíduos sólidos da construção civil e demolição – RCD

Podemos observar que no Brasil a geração de resíduos de construção e demolição é crescente, está diretamente ligada à construção de novos empreendimentos, reformas e demolição de obras.

Com base na pesquisa realizada por Marques Neto, (2005), o mesmo estima-se que, para cada tonelada de lixo urbano recolhido, são coletadas duas toneladas de entulho originado do setor de construção civil. Os resíduos de

construção e demolição são partes integrantes dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e representam um dos maiores problemas para o saneamento municipal.

Os resíduos originados da construção e demolição revelam a necessidade de uma política de controle, coleta, transporte e destinação final, e que viabilizem a reciclagem deste material com a finalidade do reaproveitamento desses resíduos, transformando em matéria - prima para serem utilizado na própria construção civil.

A principal geração de resíduos se deve ao processo de reformas para modernização ou para correção de patologias, os materiais são transportados através de caçambas de entulho, conforme figura 1.

Figura 1- Entulho de obra numa reforma residencial em Porto Velho RO, 2014.



Fonte: Autor, 2014.

A grande causa da disposição irregular dos resíduos da construção civil, se dar por não ter um local apropriado e adequado para o descarte e nem uma política de gestão de resíduos que visa à disposição de forma regular, conforme figura 2 e 3, bem como o incentivo de reaproveitamento deste material, na cidade de Porto Velho, RO, os entulhos de obras são descartados diretamente no lixão, por não ter um local apropriado ou uma alternativa de reaproveitamento.

Figura 2 – Entulho de obra depositados em locais irregulares, 2014.



Fonte: Autor, 2014.

Figura 3 – Entulho de obra depositado em locais irregulares, 2014



Fonte: Autor, 2014.

Um sistema adequado de gestão dos Resíduos da Construção Civil de um município deve, necessariamente estar de acordo com (BRASIL, 2002), ser capaz de planejar, atribuir responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos tanto para desenvolver como para implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos de gerenciamento destes resíduos. (Carvalho e Filho, 2009).

Neste contexto, a lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, em seu Art.7º destaca os principais objetivos da política nacional de resíduos sólidos:

- I - proteger a saúde pública e a qualidade do meio ambiente;
- II - preservar e assegurar a utilização sustentável dos recursos naturais;
- III - reduzir a geração de resíduos sólidos e incentivar o consumo sustentável;
- IV - incentivar a adoção e o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente saudáveis;
- V - estimular e disciplinar o gerenciamento e o manejo integrado de resíduos sólidos;
- VI - estimular as soluções intermunicipais e regionais para a gestão integrada de resíduos sólidos;
- VII - recuperar o ambiente degradado devido à disposição inadequada de resíduos sólidos;
- VIII - incentivar, fomentar e valorar a redução, a reutilização e o tratamento dos resíduos sólidos (Brasil, 2010).

Os resíduos da construção civil e demolição são materiais normalmente inertes, mas que ocupam volume ao serem descartados, causando aspecto visual desagradável e a degradação ambiental.

### 1.3 Classificações dos resíduos sólidos da construção civil

Os resíduos sólidos da construção civil são classificados em diferentes classes, visando melhor aproveitamento dos materiais para sua destinação final adequada.

No Brasil, a classificação dos resíduos é regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), onde classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que sejam manuseados e destinados de forma adequada (ABNT, NBR 10004/2004, 15113/2004).

Quadro 1 - Classificação dos Resíduos da Construção Civil

| Classificação       | Descrição   |
|---------------------|---|
| <b>I – Classe A</b> | São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:<br>a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;<br>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>II - Classe B</b>  | São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;   |
| <b>III - Classe C</b> | São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;   |
| <b>IV - Classe D</b>  | São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros. |

Fonte: Resolução 307 do CONOMA. (Brasil, 2002).

A gestão dos vários tipos de resíduos tem responsabilidades definidas em legislações específicas e implica sistemas diferenciados de coleta, tratamento e disposição final (Jacobi & Besen, 2006).

A política nacional de resíduos sólidos prevê que, na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos entulhos.

Esses são os grandes desafios, para o processo de destinação final de resíduos que pode causar grandes impactos ambientais, caso não haja uma alternativa de serem reaproveitados, em especial os entulhos, que em sua grande maioria podem ser processados e reutilizáveis em outras construções ou reparos (Montibeller, 2003).

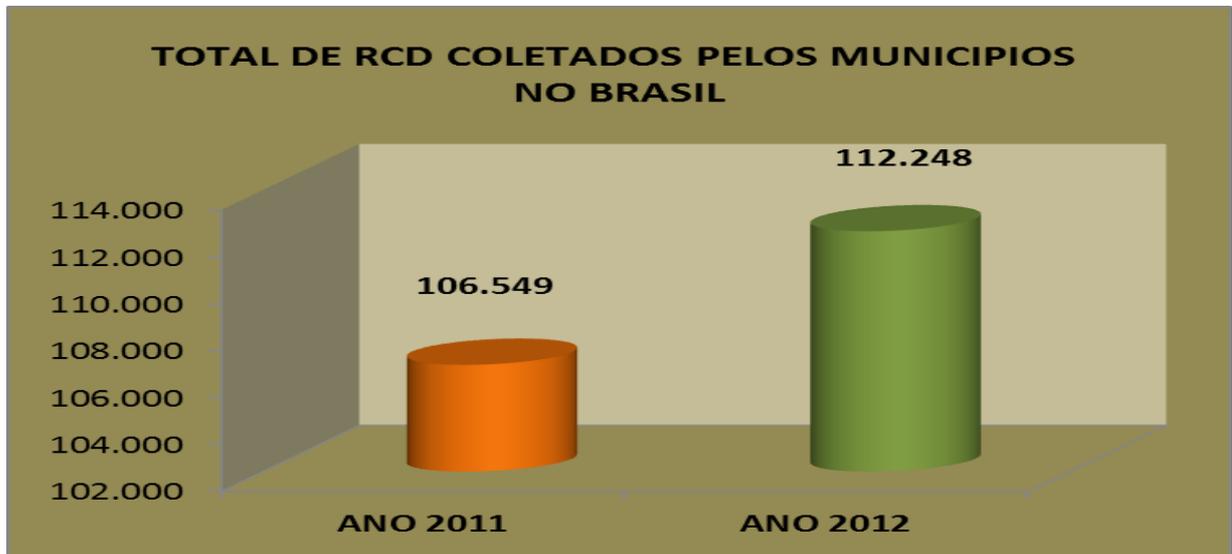
Os resíduos, dispostos de forma inadequada, sem qualquer tratamento, poluem o solo e o lençol freático alterando suas características físicas, químicas e biológicas, constituindo-se num problema de ordem estética e uma séria ameaça à saúde pública (Costa, 2009).

#### 1.4 Panoramas dos resíduos da construção e demolição no Brasil

A construção civil apresenta grande importância no segmento da indústria Brasileira, tida como um indicativo de crescimento econômico e social, porém constitui uma das principais atividades geradoras de grandes impactos ambientais.

Conforme pesquisa realizada pela ABRELPE, apresentam o panorama da quantidade de RCD coletados pelos municípios no Brasil. Com base na pesquisa e comparando os dados entre 2011 e 2012, houve um crescimento de mais de 5% na quantidade de entulho.

Gráfico 01 - Quantidade total de RCD Coletado pelos municípios no Brasil

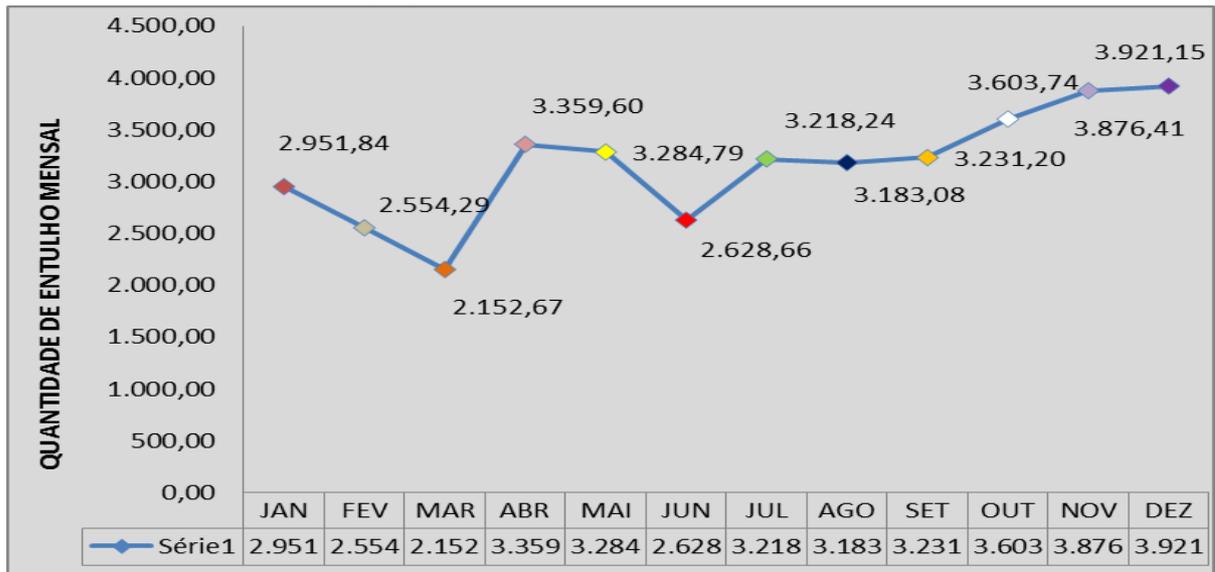


Fontes: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Públicas e Resíduos Especiais, (ABRELPE, 2010).

Neste contexto, os resíduos da construção civil representam um grave problema em muitas cidades Brasileiras, podendo gerar problema de ordem estética, ambiental e a saúde pública, de outro lado representam um problema de sobrecarga nos sistema de limpeza municipal, tendo em vista que no Brasil os RCC representam entre 50 a 70% de massa dos resíduos sólidos urbanos. (Brasil, 2005).

Na cidade de Porto Velho RO, segundo levantamento realizado pela SEMUSB, foi detectado o quantitativo de entulho coletado no ano de 2013, conforme mencionado no gráfico 02.

Gráfico 02 - Quantidade em (ton). de entulho coletado em Porto Velho, em 2013.



Fonte: Divisão de Destinação Final da SEMUSB, adaptado.

A cidade de Porto Velho, RO, tem uma população de 484.992 habitantes (IBGE, 2013), a quantidade total de entulho coletado no ano de 2013 foi um total de 37.965,67 toneladas, sendo uma média de 78 kg por habitante/ano.

Os resíduos de construção e demolição (RCD) sempre estiveram sob a responsabilidade do poder público, onde enfrentava vários problemas na limpeza e o recolhimento dos resíduos da construção civil depositado em locais inapropriados, como nas áreas públicas, calçadas, praças e margem de rios (Pucci, 2006).

Em 2002, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA aprovou a resolução Nº 307/2002, alterada pela resolução CONAMA Nº 348/2004, com objetivo de determinar que o gerador é o responsável pelo gerenciamento desses resíduos, este marco regulatório representa um grande avanço legal e técnico, estabelecendo responsabilidade aos geradores, tais como a segregação dos resíduos em diferentes classes e o seu encaminhamento para reciclagem e disposição final adequada (Brasil, 2002).

A resolução do CONAMA visa estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão adequada dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, proporcionando o reaproveitamento dos resíduos através da reciclagem.

## 1.5 Reciclagens dos resíduos de construção e demolição

A reciclagem dos materiais para o seu reaproveitamento, tem apresentado maior aceitação no mundo.

A construção civil é uma das mais antigas atividades do homem e, desde os primórdios, foi desenvolvida de forma bastante artesanal, o que sempre gerou enormes quantidades de sobras de materiais, (Marques Neto, 2005).

Na Alemanha, a partir da segunda metade do século XIX, começaram a ser utilizada, na produção de artefatos de concreto, sobras de materiais oriundos de blocos de cimento, entretanto, somente a partir de 1928 teve início o desenvolvimento de pesquisa de forma sistemática, a fim de avaliar o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito da granulometria dos agregados proveniente dos resíduos reciclados de alvenaria e concreto. (Wedler & Hummel, 1946, *apud* Marques Neto, 2005).

Com a finalidade de controlar e gerenciar os resíduos, o governo federal criou a lei de política nacional de resíduos sólidos – PNRS nº 12.305/2010 em seu artigo 3º inciso XIV define reciclagem como um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolvem a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em matéria-prima para confecção de um novo produto.

Porém, nos estados unidos, seu aproveitamento é realizado há mais de 30 anos, na produção de agregados artificiais; enquanto na Europa trata de uma atitude cultural, a Holanda, com mais de 40 usinas de reciclagem de entulhos, recicla 70% dos resíduos e a Alemanha, recicla 30%%. (Coelho, Chaves, 1998).

A primeira usina recicladora no Brasil surgiu no ano de 1991, na cidade de São Paulo, com capacidade de produção de 100 ton/hora. Hoje no Brasil existem várias usinas recicladoras, principalmente em domínio dos órgãos municipais, com grande potencialidade de reciclagem dos resíduos.

### 1.5.1 Importância da Reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição.

As reciclagens dos resíduos de construção são práticas que apresentam vantagens ambientais e econômicas, têm recebido grande impulso no Brasil com a

implantação de usinas de reciclagem em municípios médios e grandes. (Lima, 1999).

- Economia na aquisição da matéria-prima, com a substituição de materiais convencionais por entulho;
- Decréscimo da poluição gerada pelo entulho e de suas consequências negativas, como enchentes e assoreamento de rios e córregos;
- Preservação das reservas minerais não renováveis;
- Preservação e redução de áreas de aterros de inertes, minimizando os impactos decorrentes da deposição maciça de RCD;
- Criação de alternativa para as mineradoras, cada vez mais sujeitas às restrições ambientais;
- Redução do consumo de energia e de geração de CO<sub>2</sub> na produção e no transporte de materiais.

As vantagens econômicas da reciclagem apresentam-se claramente nos custos de limpeza urbana para administrações municipais. (Marques Neto, 2005).

#### 1.5.2 Principais aplicações dos resíduos de construção e demolição – RCD.

Os resíduos reciclados possuem várias aplicações na construção civil de forma sustentável e ecológica, contribuindo na diminuição dos impactos ambientais causado por esta atividade.

##### 1.5.2.1 Uso em Pavimentação.

Os entulhos de obras podem ser aplicados diretamente na forma de brita ou em mistura de resíduos com o solo, sendo utilizados na construção de base, sub-bases e revestimentos primários de pavimentação, (Zordan, 1997).

O agregado proveniente de RCD reciclados com utilização na construção de base de pavimentação está em processo de normatização, a cidade de São Paulo e Belo Horizonte foi bem sucedida na utilização de agregados provenientes de RCD reciclados em larga escala (Pinto, 1999).

A utilização dos entulhos de obras apresenta algumas vantagens na aplicação em pavimentação da seguinte forma, (Zordan, 2002):

- Menor utilização de tecnologia e com menor custo operacional;
- Utilização de todos os componentes minerais do entulho, sem necessidade de separação;
- Economia de energia na moagem de entulho, por manter a granulometria gráuda;
- Maior utilização de resíduos oriundos de pequenas obras e demolições que não reciclam seus resíduos no próprio canteiro;
- Maior eficiência dos RCD em relação às britas na adição com solos saprolíticos.

### 1.5.2.2 Utilização como agregado para concreto

Esta pesquisa busca reciclar os resíduos de construção e demolição para ser utilizado como agregado miúdo na confecção de concreto.

Como os resíduos reciclados possui uma granulometria ótima para utilização como areia média, os agregados convencionais que compõem o concreto podem ser substituídos por agregados provenientes dos RCD reciclados como possibilidade de melhoria no desempenho do concreto pelo baixo consumo de cimento (Zordan, 2002).

Segundo pesquisa realizada por Levy (2002), conclui que, comparando ao concreto convencional, a substituição de 20% de agregados de concreto ou alvenaria por reciclados, desde que livres de contaminantes e impurezas, não interferem na resistência mecânica e na durabilidade dos concretos.

### 1.5.2.3 Utilização como agregado para argamassa.

Os agregados provenientes da reciclagem de RCD podem substituir o agregado natural, para serem utilizados como argamassa de assentamento de tijolos e blocos ou em revestimentos internos e externos (chapisco, emboço e reboco). (ZORDAN, 1997).

Com a utilização deste material, podem ser observadas nos próprios canteiros de obras a redução nos custos de transporte, do consumo de cimento e cal e pelo ganho na resistência a compressão do material reciclado em relação às argamassas convencionais. (ZORDAN, 1997).

## 1.6 Reaproveitamentos de entulho de obra para fabricação de bloco Paver.

Os Pavers são blocos pré-fabricados feitos de concreto e são utilizados na fabricação de peças pré-moldada para construção de pisos intertravados, podemos ver este produto sendo utilizado na construção de praças, calçadas, passeios públicos, ruas, estacionamentos.

De acordo com a norma técnica, os pavers são produzidos para atingir alta resistência à compressão (35mpa a 50 Mpa), igual ou maior que das estruturas dos edifícios.

Sendo assim, as resistências à compressão exigida pela NBR 9781/87, apresenta valores muito elevados, principalmente pelo fato de que não considera a pavimentação de ambientes de baixas sobrecargas, como calçadas, passeios públicos e ciclovias.

Segundo o pesquisador Fioriti, (2007), diz que após desenvolver um trabalho de aplicação de resíduos de pneus em blocos para pavimentação, afirma que a resistência à compressão de 15 Mpa foi satisfatória, pois as solicitações de passeios públicos são inferiores do que previsto na norma.

#### 1.6.1 Vantagem do pavimento intertravado na construção de calçadas.

A pavimentação com o piso intertravado, além de ser considerado um piso ecológico, também proporciona algumas vantagens na construção de calçadas, dentre os quais apresenta, baixo custo, não necessita de mão de obra especializada, permiti a infiltração de uma parte da água através das juntas.

Hallack, (2001), apresentam as principais características do piso intertravado:

- a. Permitem o uso imediato do pavimento logo após seu assentamento;
- b. Possuem capacidade para manter a sequência do pavimento mesmo quando sujeitos a acomodações do subleito;
- c. Possibilita fácil reparação, facilidade de acesso às instalações subterrâneas sem marcas aparentes, reutilização das peças, fácil execução, alta resistência à abrasão, resistência ao ataque de óleos e combustíveis, baixa manutenção;
- d. Não há exigência de mão-de-obra e/ou equipamentos especiais, facilidade na incorporação de sinalização horizontal em função das peças coloridas;
- e. Apresentam menor absorção de luz solar, além de ser o pavimento mais permeável, o que proporciona a macrodrenagem das águas pluviais.

#### 1.6.2 Técnica de execução de calçadas com blocos intertravados.

A pavimentação com blocos intertravados é bastante simples, não necessita de mão de obras especializadas para executar a construção de calçadas, com base

nisso apresentamos passo a passo a execução do pavimento intertravado publicado na revista equipe de obra:

- Com o solo previamente regularizado e compactado, faça o nivelamento inicial com bica corrida em toda área a ser pavimentada, com a uma enxada, espalhe bem para que nenhuma área fique desnivelada;
- Faça as medições e tire os pontos de referência conforme caimento.
- Preparo da base com pedrisco ou areia média, espalhe todo o material de forma uniforme para o assentamento das peças;
- Fazer o sarrafeamento dos materiais com régua;
- Após a execução de toda base, começa a organizar as peças no chão. Inicie pelo bloqueio, que pode ser uma guia, nesta etapa utiliza uma linha para manter o nivelamento das peças;
- Quando a execução chegar no outro canto, será necessário fazer os arremates, deve marcar com um lápis o tamanho a ser cortado;
- Cortar os arremates com uma guilhotina de pressão;
- Com o cabo da marreta, encaixe o bloco cortado;
- Após a execução das montagens das peças, inicia o rejuntamento com areia média, neste processo não utiliza cimento, apenas areia, jogue sobre o pavimento e depois com a vassoura espalhe todo material, até o preenchimento dos espaços vazios dos blocos;
- Para melhor compactação dos blocos, deve utilizar um rolo compactador para fazer o travamento do piso. (Revista equipe de obra).

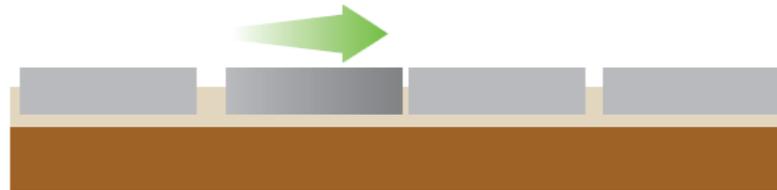
O processo de assentamento das peças garante a esse tipo de pavimentação uma de suas características mais importante que é o Intertravamento, a ABCP, 2009, definiu Intertravamento como:

- A capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual seja ele vertical horizontal ou de rotação a seus vizinhos.

O Intertravamento horizontal é a incapacidade de deslocamento horizontal de uma peça em relação às peças vizinhas, para que uma peça não sofra o

deslocamento, é necessário o preenchimento das juntas com areia fina. (Fioriti, 2007).

Figura 4 - Intertravamento horizontal

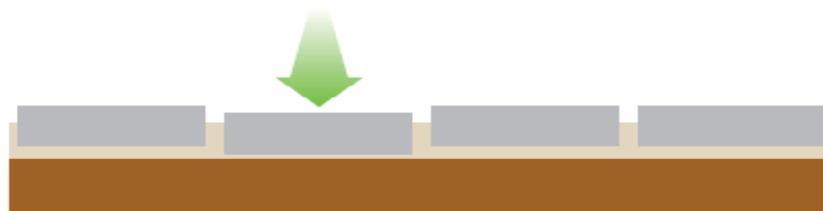


Fonte: Serafim (2010).

A definição do intertravamento de uma peça, é a capacidade que esse material tem de resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes. (Fioriti, 2007)

Fioriti, (2007), diz que o intertravamento vertical é a restrição das peças ao movimento vertical em relação às peças vizinhas. Esse tipo de intertravamento é obtido através dos esforços de tensão absorvidos pelo rejuntamento de areia entre as peças e a capacidade estrutural das camadas inferiores do pavimento.

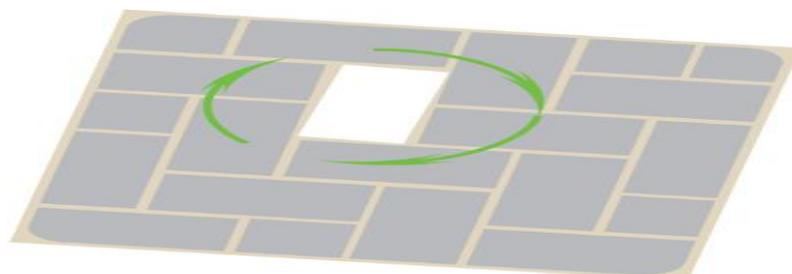
Figura 5 - Intertravamento vertical



Fonte: Serafim (2010).

Já o intertravamento rotacional ou giratório é a restrição da capacidade da peça girar em relação ao seu próprio eixo em qualquer direção. (Fioriti, 2007)

Figura 6 - Intertravamento rotacional



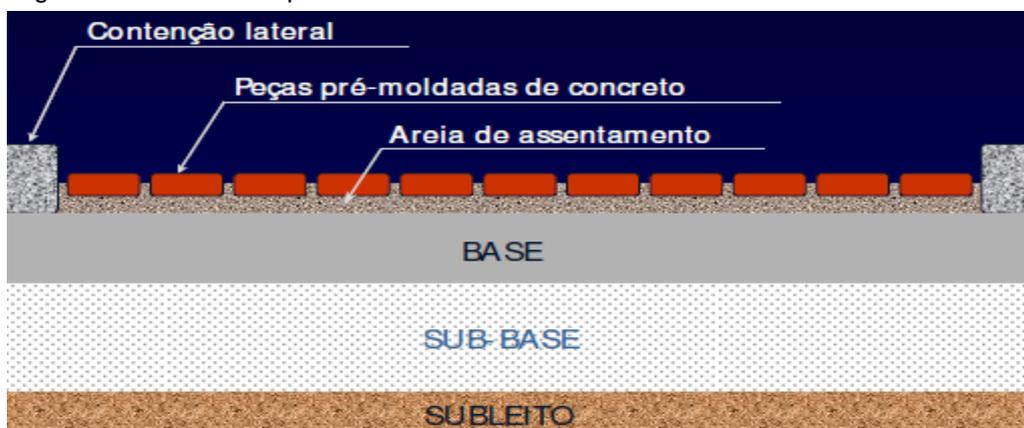
Fonte: Serafim (2010).

De acordo com o pesquisador Hallack, (2001), conclui que é o intertravamento que confere resistência a estes pavimentos diferenciando-os dos demais e que um bom intertravamento atribui aos blocos de concreto a capacidade de transmitir as cargas superficiais aplicadas em pequenas áreas.

O pavimento intertravado possui várias vantagens em função de outro tipo de pavimento, pois o pavimento intertravado apresenta a facilidade e rapidez na sua execução, visto que os Pavers são encaixados sem a necessidade de argamassa e de mão de obra especializadas, podendo ser retirado e recolocado sempre que houver necessidade de reparos. (Hallack, 2001).

A Associação Brasileira de Cimento Portland, apresenta a estrutura final do pavimento intertravado da seguinte forma:

Figura 7 - Estrutura de pavimento intertravados



Fonte: ABCP (2001).

Serão apresentadas a seguir as características e definições de todos os elementos componentes da estrutura básica do pavimento intertravados.

Subleito é definido sendo o terreno de fundação preparado para receber o pavimento, (Senço, 2007).

Sub-base é a camada complementar a base, possui função semelhante, é constituída de material granular de forma a resistir aos esforços. (Senço, 2007).

Base é a camada destinada a resistir aos esforços verticais provenientes do tráfego, fazendo a distribuição das cargas. As bases podem ser rígidas ou flexíveis. (Senço, 2007).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica do reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição “entulhos de obras”, na fabricação de blocos intertravados tipo paver a ser utilizado em calçadas.

### 2.2 Objetivos específicos

- Coletar resíduos de construção e demolição para fabricação de blocos ecológicos tipo paver;
- Separar e triturar os entulhos de obras, transformando em agregado miúdo reciclado;
- Analisar a influência da substituição dos agregados naturais por reciclado com base na resistência à compressão de blocos ecológicos para pavimentação de calçadas.

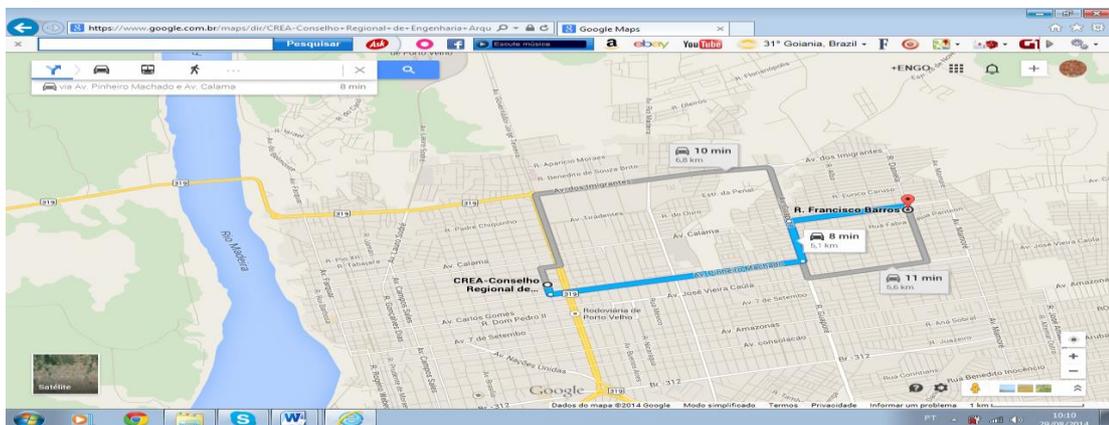
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

É importante que conheçamos os materiais que serão utilizados na fabricação de blocos paver, pois a partir da identificação das propriedades dos materiais reciclados, podemos obter um produto de qualidade para ser utilizado na própria construção civil de forma ecológica e sustentável.

#### 3.1 Coleta dos Resíduos

Para realização da 1ª etapa desta pesquisa, iniciou-se a coleta de amostra de resíduos de construção e demolição (RCD), numa reforma residencial, localizado na Rua Francisco Barro, nº 6048 Bairro, Igarapé na cidade de Porto Velho, (figura 8 e 9), no mesmo local houve a separação seletiva dos resíduos de construção e demolição de classe “A” e classe “B”.

Figura 8 - Local onde foi coletado o entulho de obra



Fonte: Programa *googlemaps*. modificado, 2014.

Figura 9 - Reforma residencial



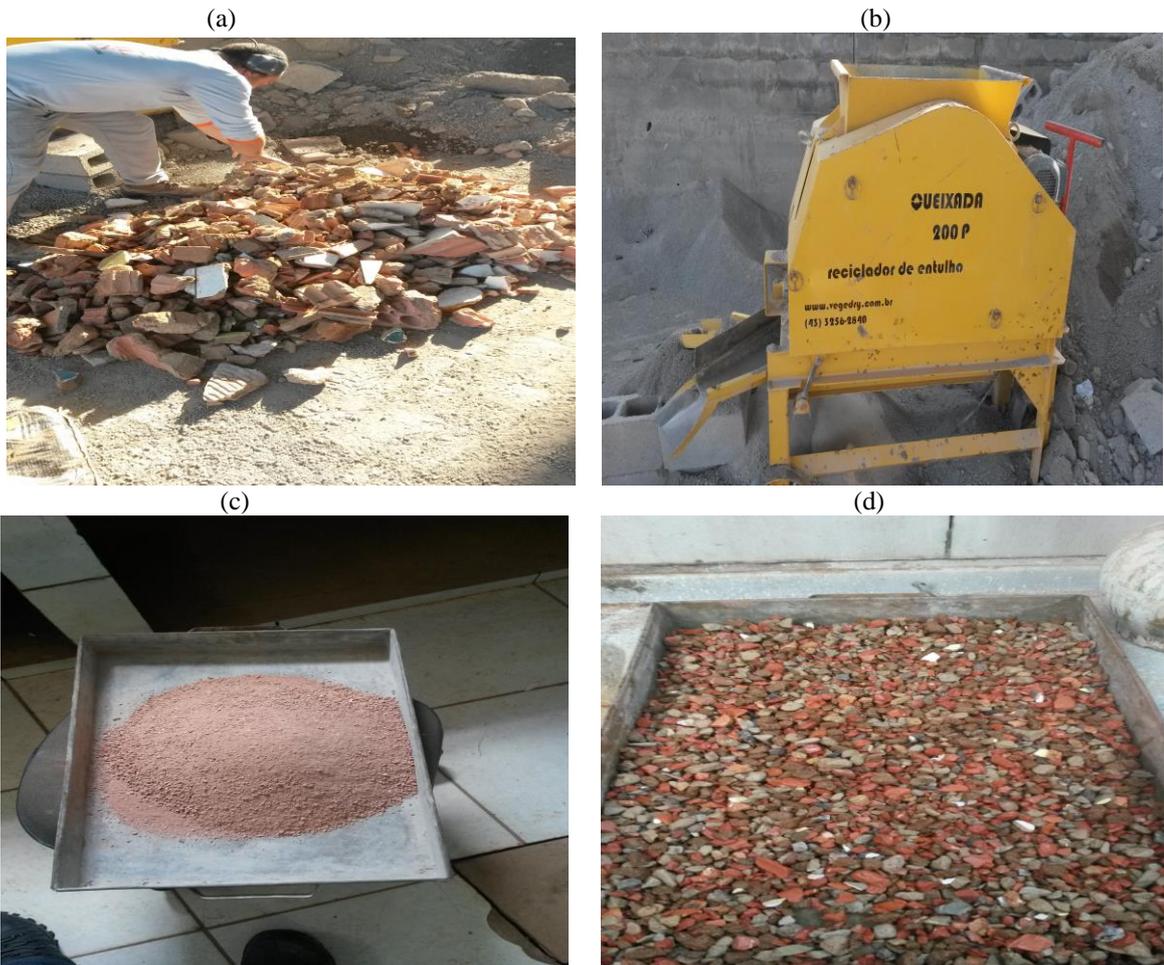
Fonte: Autor, 2014

### 3.2 Separar e triturar o entulho

Após a separação seletiva do material de classe “A” “entulho de obra”, foi ensacado e transportado até a empresa CASA FACIL IND. E COM. DE BLOCOS DE CONCRETO LTDA, localizado na Rua PE Francisco Moreno, lote 03, quadra 08, distrito industrial a 20 km da cidade de Porto Velho, onde foi realizada a trituração do entulho, em um triturador específico para este tipo de material, transformando em agregado reciclado, conforme figura 10.

O entulho triturado foi encaminhado até a empresa BETONTECH TECNOLOGIA DE CONCRETO LTDA, na qual foram realizados os ensaios necessários para conhecer as características dos materiais a ser utilizado na fabricação dos blocos.

Figura 10 - (a) Separação seletiva (b) Reciclador de entulho (c) Agregado miúdo (d) Agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2014

### 3.3 Análise da resistência à compressão do bloco paver

Antes de iniciar a fabricação dos blocos Paver, é necessário que se faça alguns testes para identificar as características dos agregados, esta etapa da pesquisa tem como objetivo o ensaio de determinação da composição granulométrica dos agregados, bem como conhecer o módulo de finura e a dimensão máxima característica dos agregados.

#### 3.3.1 Composição Granulométrica do agregado graúdo reciclado

O ensaio proposto tem como finalidade a determinação e a composição granulométrica do agregado graúdo, bem como verificar e conhecer o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado.

##### 3.3.1.1 Amostra.

Para determinar a composição granulométrica do agregado graúdo, foi utilizada uma amostra de 2 kg de agregado reciclado, proveniente do entulho de construção e demolição.

##### 3.3.1.2 Equipamentos

- Peneiras (mm): fundo/0,15/0,3/0,6/1,2/2,4/4,8/6,3/9,5/12,5/19/25
- Balança com precisão de 1g;
- Escova de aço

##### 3.3.1.3 Procedimentos

- a. Separar uma amostra de 2 kg de agregado graúdo reciclado;
- b. Secar previamente o material ao ar;
- c. Peneirar o material em porções, sobre a série de peneiras até que após 60 segundos, passe em cada peneira menos que 1% do total da porção;
- d. Determinar a massa total de material retido em cada peneira;
- e. Determinar a porcentagem retida individual expressando a massa retida em cada peneira como porcentagem da massa total da amostra ensaiada.
- f. Determinar a porcentagem retida acumulada (porcentagem retida em cada peneira mais a soma das porcentagens das primeiras superiores a ela).

No entanto, os materiais foram peneirados através das peneiras citadas, de forma contínua, permitindo a separação dos diferentes tamanhos de grãos do agregado, em cada peneira o material retido foi separado e pesado, anotando-se o valor na planilha de composição granulométrica. Os grãos de agregado graúdo que ficaram presos nas malhas das peneiras foram retirados com a passagem da escova com cerda de aço. Ao final deste processo, com todos os valores dos pesos retidos em cada peneira, procedeu-se o cálculo da composição granulométrica, definindo-se os percentuais de materiais retido e retido acumulado.

O percentual retido acumulado em relação a cada peneira da série utilizada fornecerá os dados para a definição da curva granulométrica do agregado graúdo reciclado em estudo, bem como a definição do módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado.

### 3.3.2 Composição Granulométrica do agregado miúdo reciclado

O ensaio proposto tem como finalidade a determinação e a composição granulométrica do agregado miúdo reciclado, bem como conhecer o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado.

#### 3.3.2.1 Amostra

Para determinar a composição granulométrica do agregado miúdo, foi utilizada uma amostra de 1 kg de agregado miúdo reciclado, proveniente do entulho de construção e demolição.

#### 3.3.2.2 Equipamentos

- Peneiras (mm): fundo/0,15/0,3/0,6/1,2/2,4/4,8/6,3
- Balança com precisão de 1g;
- Escova de aço.

#### 3.3.2.3 Procedimentos

- a. Separar uma amostra de 1 kg de agregado miúdo reciclado;
- b. Secar previamente o material ao ar;

- c. Peneirar o material em porções, sobre a série de peneiras até que após 60 segundos, passe em cada peneira menos que 1% do total da porção;
- d. Determinar a massa total de material retido em cada peneira;
- e. Determinar a porcentagem retida individual expressando a massa retida em cada peneira como porcentagem da massa total da amostra ensaiada.
- f. Determinar a porcentagem retida acumulada (porcentagem retida em cada peneira mais a soma das porcentagens das primeiras superiores a ela).

No entanto, os materiais foram peneirados através das peneiras citada acima, de forma contínua, permitindo a separação dos diferentes tamanhos de grãos do agregado, em cada peneira o material retido foi separado e pesado, anotando-se o valor na planilha de composição granulométrica. Os grãos de agregado que ficaram presos nas malhas das peneiras, foram retirados com a passagem da escova com cerda de aço. Ao final deste processo, com todos os valores dos pesos retidos em cada peneira, procedeu-se o cálculo da composição granulométrica, definindo-se os percentuais de materiais retido e retido acumulado.

O percentual retido acumulado em relação a cada peneira da série utilizada fornecerá os dados para a definição da curva granulométrica do agregado em estudo, bem como a definição do módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado.

### 3.3.3 Massa específica e absorção de agregado graúdo.

A massa específica de um material é a relação entre a sua massa e o seu volume real, conforme determina a NBR 9937/1987, substituída pela NBR NM 53/2002.

#### 3.3.3.1 Amostra

Para a execução da massa específica e absorção do agregado, utilizou-se uma amostra de 2 kg de agregado graúdo reciclado, proveniente do entulho de construção e demolição.

### 3.3.3.2 Equipamentos

- a) Balança hidrostática com capacidade para 20000g e precisão de 1g;
- b) Estufa com capacidade para 100/110 °C;
- c) Tanque com água para submersão do cesto da balança;
- d) Cesto com malha de arame;
- e) Recipiente para determinação da massa do agregado ao ar;
- f) Concha e panos.

### 3.3.3.3 Procedimentos

- a) Lavar o material sobre a peneira 4,8mm, rejeitando o que passar;
- b) Secar o material em estufa;
- c) Após esfriar, determinar a massa de material para o ensaio (A);
- d) Submergir o material em água, a temperatura ambiente;
- e) Determinar a massa do material submerso (B);
- f) Enxugar o material com pano;
- g) Determinar a massa (C) do material saturado com a superfície seca (s.s.s).

Após a realização de toda etapa deste ensaio, deve ser calculado a massa específica e a absorção do agregado graúdo, através da seguinte formula:

$$Me = \frac{A}{C - B}$$

$$A = \frac{Ms - M}{M} \times 100$$

Onde:

A - é absorção de água, em porcentagem.

Ms - massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas,

M - massa ao ar da amostra seca, em gramas.

Figura 11 (a) Lavagem dos materiais (b) Agregado graúdo (c) Peneira 4,75mm (d) Balança



Fonte: Autor, 2014.

### 3.3.4 Determinação da massa específica do agregado miúdo (frasco de Chapman).

Este ensaio visa determinar a massa específica real do agregado miúdo pelo método do frasco Chapman, fundamentado na NBR 9776/1987, substituída pela NBR NM 52/2009.

#### 3.3.4.1 Amostra

Para a realização deste ensaio, foi utilizada a quantidade de 500 g de agregado miúdo reciclado e 200 ml de água.

#### 3.3.4.2 Equipamentos

- a) Frasco Chapman;
- b) Balança com precisão de 1g;

c) Funil.

### 3.3.4.3 Procedimentos

- a) Secar o material ao ar;
- b) Colocar água no frasco Chapman até a marca de 200 ml
- c) Colocar 500 g de material no frasco, agitar bem para retirada das bolhas de ar, inclinando-o para remoção do material eventualmente aderido na parede do tubo;
- d) obter a leitura final (LF).

Mediante a conclusão deste ensaio, procedeu-se o calculo da massa especifica, com a seguinte expressão:

$$Me = \frac{500}{L - 200}$$

Figura 12 (a) Colocação da areia no frasco (b) Retirada de bolha de ar



Fonte: Autor, 2014.

### 3.3.5 Massa Unitária de agregado miúdo no estado solto.

A massa unitária de um agregado é a relação entre a sua massa e o seu volume, de forma a transformar quantidades expressas em massa para volume ou vice versa.

### 3.3.5.1 Amostra

Na execução deste ensaio, foi utilizado agregado miúdo reciclado, de forma a preencher o recipiente.

### 3.3.5.2 Equipamentos

- a. Balança com precisão de 10g;
- b. Concha;
- c. Recipiente prismático com volumes de 15 dm<sup>3</sup>.

### 3.3.5.3 Procedimentos

- a. Secar o material ao ar;
- b. Encher o recipiente lançando o material a uma altura de 10 a 12 cm do seu topo;
- c. Rasar o recipiente e determinar a sua massa.

No entanto, após a realização desta etapa, procedeu-se o calculo da massa unitária do agregado miúdo no estado solto, de acordo com a seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{m}{V_r}$$

Figura 13 (a) Densidade aparente (b) Enchimento do recipiente



Fonte: Autor, 2014.

### 3.3.6 Definição do traço para confecção do bloco paver.

O traço é uma espécie de “receita” do concreto, ou seja, a indicação correta das proporções entre os materiais a serem utilizadas na confecção do concreto para fabricação do bloco paver. (Fernandes, 2012).

Nesta pesquisa iremos adotar porcentagem de areia reciclada na proporção de 25%, 50%, 75% e 100 %, substituindo areia natural, para compor este traço, serão utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland,
- Areia reciclada,
- Areia natural,
- Brita artificial 0 (zero),
- Água,
- Aditivo plastificante.

Na definição dos traços é imprescindível à utilização dos resultados da granulometria dos agregados, massa específica dos agregados, massa unitária dos agregados, diâmetro máximo e o modulo de finura dos agregados, porem no quadro abaixo apresenta os resultados dos materiais para compor o traço do concreto.

Quadro 2 - Resultado dos materiais para definição do traço

| Materiais                | Massa específica dos agregados | Massa unitária dos agregados | Granulometria                 |                                |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|                          |                                |                              | Diâmetro máximo dos agregados | Modulo de finura dos agregados |
| Agregado miúdo reciclado | 2,439g/dm <sup>3</sup>         | 1,160 kg/dm <sup>3</sup>     | 4,8mm                         | 2,33mm                         |
| Agregado miúdo natural   | 2,620g/dm <sup>3</sup>         | 1,610kg/dm <sup>3</sup>      | 4,8mm                         | 2,49mm                         |
| Agregado graúdo brita 0  | 2638g/dm <sup>3</sup>          | 1392 kg/dm <sup>3</sup>      | 6,3mm                         | 5,43mm                         |
| Cimento                  | 3,100g/ dm <sup>3</sup>        |                              |                               |                                |

Fonte: Autor, 2014.

O traço incorreto nas proporções dos materiais ocasiona falta de compactação da mistura, acabam por acarretar um aumento no consumo de cimento

e água para que o material possa ficar homogêneo, com o aumento de aglomerante e água no traço, onera o custo do produto, bem como a diminuição da resistência.

### 3.3.7 Processo de produção do paver.

O paver pode ser produzido por três processos bem distintos, através do processo dormido, processo virado e o processo prensando (Fernandes, 2012).

Esta pesquisa adotou a confecção do paver através do processo dormindo, no qual o concreto permanece na forma um dia para outro, como a forma é de aço, o paver fica com um acabamento superficial liso.

Para a execução deste processo, foi confeccionado forma com chapa de aço, com dimensão de 20 cm de comprimento, 10 cm de largura e 8 cm de altura, visando a facilidade de fabricação da peça de paver, produzido com concreto tipo farofa. Após a definição do traço e a separação do material, a moldagem será executada com a utilização dos seguintes equipamentos relacionada abaixo:

- Balança,
- Betoneira,
- Forma de aço.

Concluído todos os processos de fabricação do paver na porcentagem de 25%, 50%, 75% e 100% de agregado miúdo reciclado em substituição de partes do agregado miúdo natural, os blocos serão rompidos para a obtenção da resistência a compressão, na idade de 28 dias.

Figura 14 (a) Forma de aço,(b) Betoneira



### 3.3.8 Ensaio de resistência à compressão do Paver.

A norma Brasileira NBR 9780/1987 apresenta as principais recomendações para executar o ensaio de resistência à compressão dos blocos paver.

#### 3.3.8.1 Amostra

Para a execução dos corpos de prova foram confeccionado 6 amostras para cada porcentagens de forma a avaliar a resistência de ruptura a compressão.

#### 3.3.8.2 Equipamentos

- a. Prensa devidamente aferida, com capacidade para 100 toneladas;
- b. Dispositivo de ruptura de pavimento intertravados, composto de dois discos de diâmetro de 85 mm munidos de prolongamentos que possibilitem sua fixação de maneira centralizada, nos pórticos superior e inferior da prensa;
- c. Balança com capacidade mínima de 20 kg e precisão de 10 g;
- d. Prancheta, caneta e ficha de ensaio;
- e. Cronometro;
- f. Paquímetro ou régua milimetrada de 30 cm.

#### 3.3.8.3 Procedimentos

- a. Secar os corpos de prova ao ar;
- b. Pesar cada corpo de prova e anotar a massa, em gramas;
- c. Medir e anotar as dimensões, altura, largura e comprimento, em milímetro;
- d. Efetuar o capeamento das peças;
- e. Adaptar os dispositivos de ruptura na prensa e zerar o equipamento;
- f. Certificar-se de que o capeamento não esteja solto, possua trincas ou saliências;
- g. Centralizar a peça no dispositivo inferior e baixar o superior até encostar levemente na superfície capeada da peça;
- h. Iniciar o carregamento e ajustar a velocidade de 300kpa/s e 800kpa/s;
- i. Manter o carregamento na velocidade indicada até a ruptura da peça;
- j. Anotar o valor, em Newton, na ficha de ensaio;

- k. Calcular as resistências individuais ( $f_{pi}$ ) dividindo cada carga, em N, pela respectiva área da peça, em  $\text{mm}^2$ ;
- l. Calcular a resistência média ( $f_{pj}$ ) e a resistência característica ( $f_{pk}$ ).

Após a cura dos blocos Paver na idade de 28 dias, deve realizar o capeamento das peças feito com argamassa de enxofre aquecida à temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$ , onde deve ser vertida sobre uma placa de vidro untada, após este processo será utilizado o paquímetro de forma a verificar o diâmetro das peças e a definição do centro de gravidade da peça, deve colocar uma peça circular com diâmetro de 85 mm no centro de gravidade do bloco, sendo uma na parte inferior e outro na superior de forma a proceder ao rompimento da peça, até a sua ruptura completa. A resistência à compressão da peça deve ser obtida dividindo-se a carga de ruptura (em N) pela área de carregamento (em  $\text{mm}^2$ ), multiplicando-se o resultado pelo fator “p”, função da altura da peça, conforme tabela.

Tabela 1 – Fator multiplicativo “p”

| Altura nominal da peça<br>(mm) | Fator multiplicativo<br>“p” |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 60                             | 0,95                        |
| 80                             | 1,00                        |
| 100                            | 1,05                        |

Fonte, NBR 9780/1987

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, apresenta-se os resultados dos ensaios realizados para confecção dos blocos pavers, bem com a resistência a compressão dos blocos com a substituição de porcentagens de agregado miúdo reciclado por agregado miúdo natural, a ser utilizado na construção de calçadas.

### 4.1 Coleta dos Resíduos

Os resíduos coletados originaram-se de uma reforma residencial, localizada na cidade de Porto Velho, os materiais apresentaram uma grande proporcionalidade de diferentes tipos de materiais, tijolos cerâmicos e reboco de paredes.

Devido a sua origem, o entulho desta residência foi classificado na classe “A”, (figura 15), por ser um material reaproveitável e reciclável, com base na NBR 10004/2004, 15113/2004, 15116/2004 e resolução 307 do CONAMA.

Figura 15 - Entulho de obra



Fonte: Autor, 2014.

### 4.2 Separar e triturar o entulho

Nesta etapa houve a separação seletiva dos materiais de classe “A” e “B”, o material do tipo classe “A”, foi triturado em um triturador específico transformando o

entulho de obras em agregado miúdo para serem utilizado na substituição do agregado natural, (figura 16), com ênfase na fabricação de blocos ecológicos para construção de calçadas. Os resíduos triturados obtiveram mais tijolo cerâmico em relação a outros materiais.

Figura16 (a) Agregado graúdo reciclado (b) Agregado miúdo reciclado



Fonte: Autor, 2014.

### 4.3 Análise das resistências à compressão do bloco Paver

A importância destes tópicos na atividade prática decorre da necessidade de conhecer as especificações dos materiais constituintes na produção do concreto, a fim de compor ao final deste processo a necessária dosagem para confecção de blocos paver.

Portanto, os processos experimentais apresentados, objetivam demonstrar os resultados obtidos nos diversos ensaios e assim possibilitar suas análises para fabricação de paver.

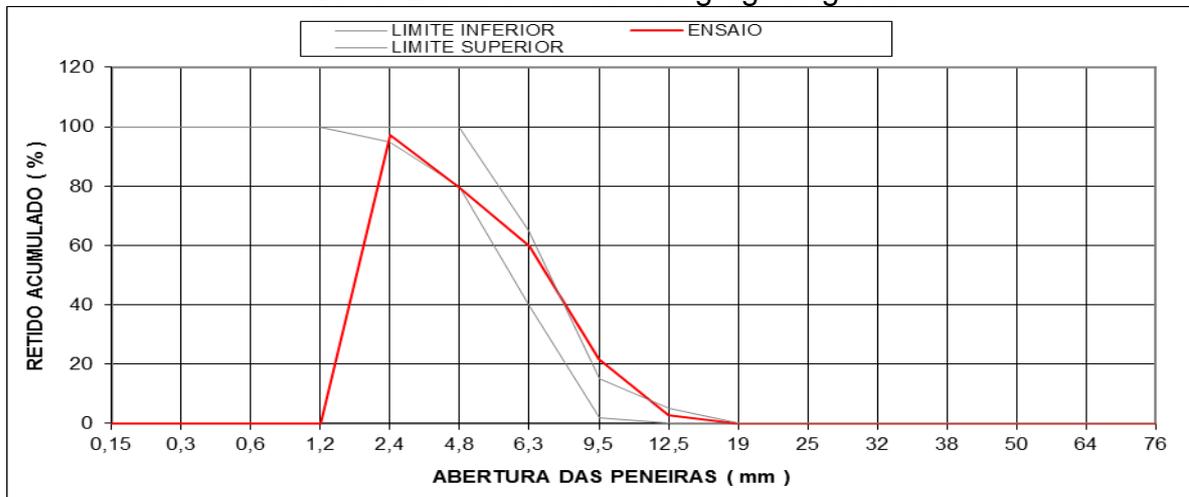
#### 4.3.1 Composição Granulométrica do agregado graúdo reciclado.

Com base nos ensaios realizados e seguindo todos os procedimentos de execução da análise de granulometria do agregado graúdo, conforme determina a NBR 7211/2009, foram obtidos os seguintes resultados, previsto no gráfico 03:

Gráfico 03. Composição granulométrica do agregado graúdo reciclado.

| Peneiras (mm) | Material retido (g) | Percentual retido (%) | Percentual retido acumulado (%) |
|---------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 25            | 0                   |                       |                                 |
| 19            | 0                   |                       |                                 |
| 12,5          | 53,0                | 2,7                   | 2,7                             |
| 9,5           | 373,0               | 19,0                  | 21,68                           |
| 6,3           | 748,0               | 38,1                  | 59,75                           |
| 4,8           | 389,0               | 19,8                  | 79,54                           |
| 2,4           | 349,0               | 17,8                  | 97,30                           |
| 1,2           |                     |                       | 97,30                           |
| 0,6           |                     |                       | 97,30                           |
| 0,3           |                     |                       | 97,30                           |
| 0,15          |                     |                       | 97,30                           |
| Fundo         | 53,0                | 2,70                  | 100,00                          |

Curva Granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autor, 2014.

O módulo de finura foi obtido através da soma das porcentagens retidas acumuladas e dividido o somatório por 100, no qual resultou o módulo de finura do agregado graúdo reciclado como sendo = 6,5mm.

O diâmetro máximo do agregado graúdo foi definido como a malha da peneira na qual ficou retido o percentual acumulado igual o inferior a 5%, o que resultou diâmetro máximo = 12,5mm.

De acordo com o módulo de finura definido pelo ensaio, o agregado ensaiado constitui-se de brita 0 (zero), pois apresentou o módulo de finura maior que 4,8 e menor que 12,5 mm, conforme determina a NBR 7211/2009.

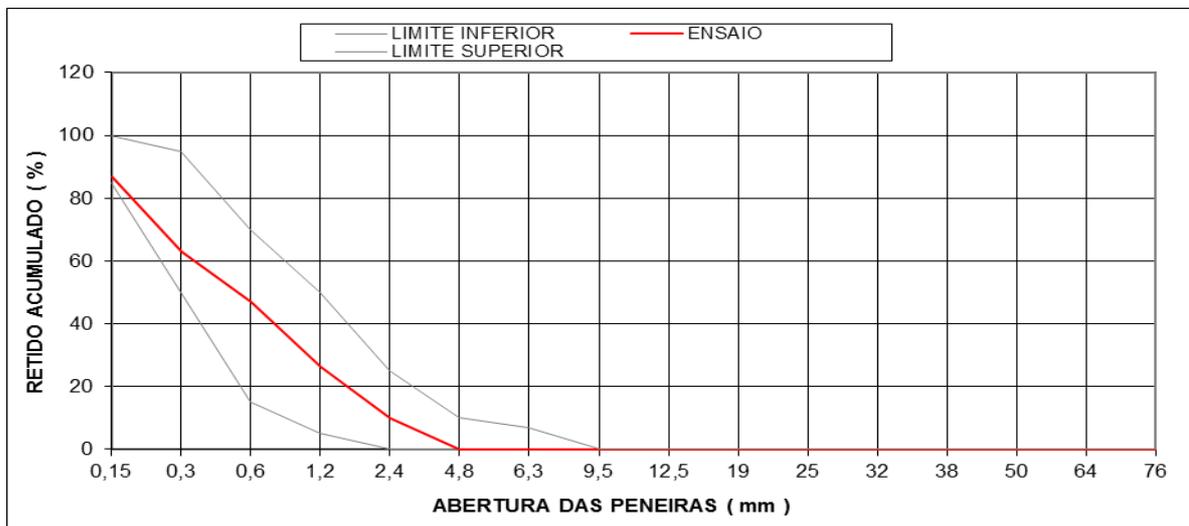
#### 4.3.2 Composição Granulométrica do agregado miúdo reciclado.

Com base nos ensaios realizados e seguindo todos os procedimentos de execução de ensaio de granulometria do agregado miúdo, conforme determina a NBR 7211/2009, foram obtidos os seguintes resultados previstos no gráfico 04:

Gráfico 04. Composição granulométrica do agregado miúdo reciclado.

| Peneiras (mm) | Material retido (g) | Percentual retido (%) | Porcentual retido acumulado (%) |
|---------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 6,3           | 0                   | -                     |                                 |
| 4,8           | 0                   | -                     |                                 |
| 2,4           | 95,0                | 9,8                   | 9,8                             |
| 1,2           | 159,0               | 16,4                  | 26,27                           |
| 0,6           | 201,0               | 20,4                  | 47,05                           |
| 0,3           | 155,0               | 16,4                  | 63,08                           |
| 0,15          | 231,0               | 23,9                  | 86,97                           |
| Fundo         | 126,00              | 13,0                  | 100,00                          |

Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor, 2014.

O módulo de finura foi obtido através da soma das porcentagens retidas acumuladas e dividido o somatório por 100, no qual resultou o módulo de finura do agregado miúdo reciclado como sendo = 2,33mm.

O diâmetro máximo do agregado miúdo foi definido como a malha da peneira na qual ficou retido o percentual acumulado igual o inferior a 5%, o que resultou diâmetro máximo = 4,8mm.

Com base neste resultado, o módulo de finura do agregado miúdo reciclado constitui-se de areia média, pois apresentou o módulo de finura maior que 2,20 e

menor que 2,90, porém este agregado está não zona ótima de utilização conforme determina a NBR 7211/2009.

#### 4.3.3 Massa específica e absorção de agregado graúdo

Na execução deste ensaio, foi retirada uma amostra de 2000g de agregado graúdo reciclado, dividindo em duas porções, sendo 1000g para cada etapa.

O Resultado das amostras de agregados graúdos reciclados para determinação da massa específica ficou conforme descrito no quadro 03.

Quadro 3- Resultado da massa específica do agregado graúdo reciclado.

| Amostras | Massa do Material (A) | Massa do material submerso (B) | Massa do material saturado com superfície seca. (C) |
|----------|-----------------------|--------------------------------|---|
| 1ª       | 1000g                 | 717g                           | 1130g   |
| 2ª       | 1000g                 | 715g                           | 1135g   |
| Média    | 1000g                 | 716g                           | 1132,5g   |

Fonte: Autor, 2014.

$$Me = \frac{1000g}{1132,5 - 716} = 2,400kg / dm^3$$

$$A = \frac{1132,5 - 1000}{1000} \cdot 100 = 13,25\%$$

Com base nos ensaios realizados, a pesquisa chegou ao resultado de 2,400kg/dm<sup>3</sup> da massa específica do agregado graúdo, bem como uma absorção de 13,25% de umidade nos agregados.

Figura 17 (a) estufa (b) agregado submerso (c) pesagem do agregado submerso (d) secagem do agregado com pano.



Fonte: Autor, 2014.

#### 4.3.4 Determinação da Massa específica do agregado miúdo.

Este experimento tem como finalidade a verificação da massa específica do agregado miúdo reciclado, nesta pesquisa foi utilizada uma amostra de 500g de areia reciclada e 200 ml de água limpa para a realização deste ensaio.

Portanto, a leitura feita após a colocação do agregado miúdo no frasco, ficou definida como sendo o valor de: 405 ml.

$$\gamma = \frac{500}{405 - 200} = 2,439 \text{ g / dm}^3$$

Com base no ensaio realizado, a massa específica do agregado miúdo reciclado, apresentou o resultado de 2,439g/dm<sup>3</sup>, onde pode ser observada uma aproximação do resultado padrão da grande maioria das massas específicas reais das areias.

Figura 18 – (a) Frasco Chapman, (b) Balança



Fonte: Autor, 2014.

#### 4.3.5 Massa Unitária de agregado miúdo no estado solto

O resultado obtido neste ensaio para a determinação da massa unitária da areia seca reciclada no estado solto chegou a um valor de: 1,16 kg/dm<sup>3</sup>, apresentando uma massa unitária satisfatória, o que permitem avaliar que o material analisado está em conformidade com os padrões exigidos.

Quadro 4- Resultado da massa unitária do agregado miúdo no estado solto.

| Amostra    | Vol. do recipiente (dm <sup>3</sup> ) | Massa do recipiente (kg) | Massa da amostra (kg) | Massa unitária ( $\delta$ ) (kg/dm <sup>3</sup> ) |
|------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---|
| 1ª determ. | 15                                    | 989,6                    | 1160                  | 1,17  |
| 2ª determ. | 15                                    | 989,6                    | 1142                  | 1,15  |
| 3ª determ. | 15                                    | 989,6                    | 1144                  | 1,15  |
| Média      |                                       |                          |                       | 1,16kg/dm <sup>3</sup>                            |

Figura 19 - Massa unitária de agregados no estado solto.



Fonte: Autor, 2014.

#### 4.3.6 Determinação do traço para confecção do bloco Paver

A definição deste traço para fabricação de Paver, foi calculado com base em 1m<sup>3</sup> de concreto, para elaboração deste traços, foi utilizado os resultados da granulometria do agregado miúdo reciclado, agregado miúdo natural e a granulometria do agregado graúdo artificial, bem como a massa específica deste material, massa unitária, modulo de finura dos agregados e dimensão máxima dos agregados.

Tabela 2 - Traço de concreto com 100% de agregado miúdo reciclado

| Traço para amostra com 100% de agregado miúdo                         | Cimento Itaú CP-IV RS (kg) | Areia reciclada de entulho de obra (kg) | Areia natural (kg) | Pedrisco (kg) | Água (litros) | Aditivo plastificante (litros) |
|---|----------------------------|---|--------------------|---------------|---------------|--------------------------------|
| Quantidades de materiais para produção de 1m <sup>3</sup> de concreto | 351                        | 752                                     | -                  | 1011          | 172           | 1,72                           |
| Base de calculo para este traço                                       | 7,02                       | 15,04                                   | -                  | 20,22         | 3,4           | 0,0344                         |

Fonte: Autor, 2014.

Tabela 3 - Traço de concreto com 75% de agregado miúdo reciclado

| Traço para amostra com 75% de agregado miúdo                          | Cimento Itaú CP-IV RS (kg) | Areia reciclada de entulho de obra (kg) | Areia natural (kg) | Pedrisco (kg) | Água (litros) | Aditivo plastificante (ml) |
|---|----------------------------|---|--------------------|---------------|---------------|----------------------------|
| Quantidades de materiais para produção de 1m <sup>3</sup> de concreto | 351                        | 564                                     | 188                | 1011          | 172           | 1,72                       |
| Base de calculo para este traço                                       | 7,02                       | 11,28                                   | 3,76               | 20,22         | 3,4           | 0,0344                     |

Fonte: Autor, 2014.

Tabela 4 - Traço de concreto com 50% de agregado miúdo reciclado

| Traço para amostra com 50% de agregado miúdo                          | Cimento Itaú CP-IV RS (kg) | Areia reciclada de entulho de obra (kg) | Areia natural (kg) | Pedrisco (kg) | Água (litros) | Aditivo plastificante (ml) |
|---|----------------------------|---|--------------------|---------------|---------------|----------------------------|
| Quantidades de materiais para produção de 1m <sup>3</sup> de concreto | 351                        | 376                                     | 376                | 1011          | 172           | 1,72                       |
| Base de calculo para este traço                                       | 7,02                       | 7,52                                    | 7,52               | 20,22         | 3,4           | 0,0344                     |

Fonte: Autor, 2014.

Tabela 5 - Traço de concreto com 25% de agregado miúdo reciclado

| Traço para amostra com 25% de agregado miúdo                          | Cimento Itaú CP-IV RS (kg) | Areia reciclada de entulho de obra (kg) | Areia natural (kg) | Pedrisco (kg) | Água (litros) | Aditivo plastificante (ml) |
|---|----------------------------|---|--------------------|---------------|---------------|----------------------------|
| Quantidades de materiais para produção de 1m <sup>3</sup> de concreto | 351                        | 188                                     | 564                | 1011          | 172           | 1,72                       |
| Base de calculo para este traço                                       | 7,02                       | 3,76                                    | 11,28              | 20,22         | 3,4           | 0,0344                     |

Fonte: Autor, 2014.

De acordo com a definição das quantidades de materiais, chegou-se a um traço proporcionais de cimento, areia, brita e água: 1;2,14;2,88;0,49

Figura 20 (a) Traço com 25% (b) 50% (c) 75% (d) 100%



Fonte: Autor, 2014.

#### 4.3.7 Processo de produção do Paver

Com a definição do traço do concreto para confecção de blocos nas proporções de 25%, 50%, 75% e 100% de agregado miúdo reciclado em substituição do agregado miúdo natural, nesta etapa os resultados foram satisfatórios, haja vista que os produtos apresentaram um acabamento superficial liso, para execução deste experimento, os blocos foram moldados de forma manual, sem a utilização de mesa vibratória para compactação do material, mesmo não sendo uma forma ideal de produção, os blocos chegaram a um resultado bem satisfatório, perfeitamente para serem utilizados na construção de calçadas de forma ecológica e sustentável.

Os processos de produção do tipo dormido e virado são mais adequados para a produção de pavers, neste estudo optou-se pela produção dos pavers pelo processo dormido.

Figura 21 (a) Fabricação do paver (b) Mistura do material na betoneira



Fonte: Autor, 2014.

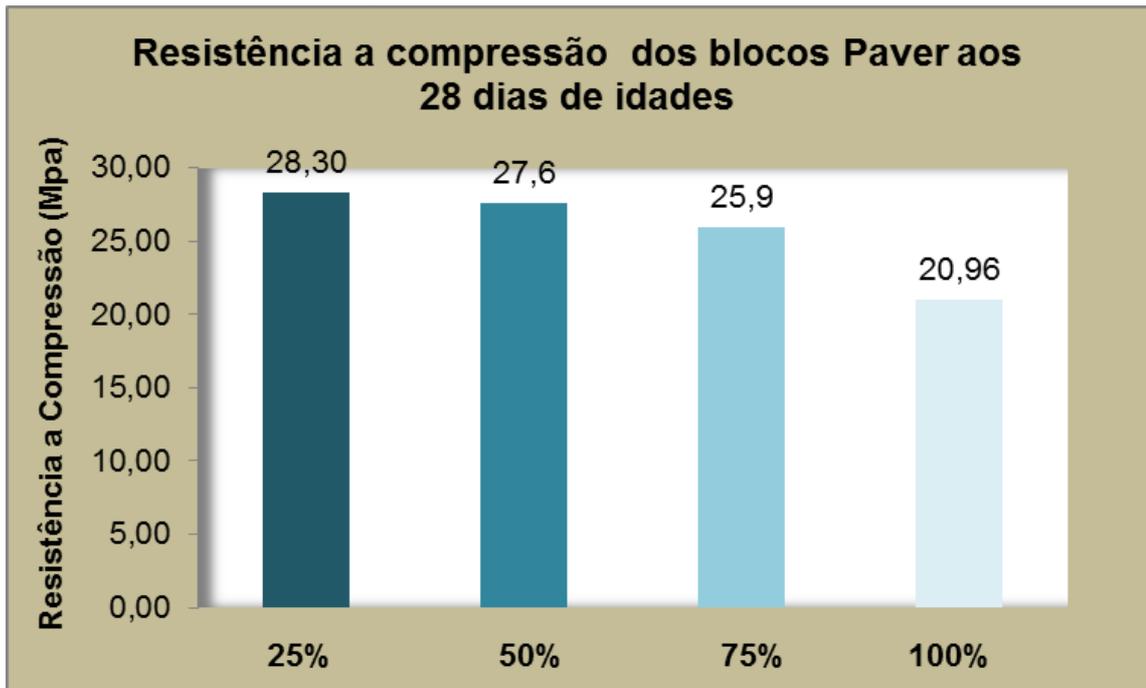
#### 4.3.8 Ensaio de resistência à compressão.

Com base nos ensaios realizados, apresentamos os resultados de cada porcentagens dos corpos de provas proposto nesta pesquisa, onde analisamos a melhor opção em função dos requisitos e parâmetros previsto na NBR 9780/2007 para produção de paver, esta pesquisa visa analisar a resistência a compressão dos blocos aos 28 dias de cura.

Tabela 6 - Resistências dos corpos de provas na idade de 28 dias de cura.

| Cp<br>N.º | Altura<br>(mm) | Porcentagens de<br>agregados miúdos<br>reciclados (%) | Resistencia a Compressão<br>(Mpa) |
|-----------|----------------|---|-----------------------------------|
| Amostra 1 | 80             | 25  | 28,30                             |
| Amostra 2 | 80             | 50  | 27,60                             |
| Amostra 3 | 80             | 75  | 25,90                             |
| Amostra 4 | 80             | 100   | 20,96                             |

Gráfico 5 - Resistências à compressão dos blocos aos 28 dias de idade.



Fonte: Autor, 2014.

Nesta etapa apresenta-se os resultados das resistências a compressão dos blocos pavês aos 28 dias (figura 22), pode-se observar que os blocos com as porcentagens prevista neste ensaio, não apresentou o resultado mínimo de 35MPa conforme determina a norma técnica vigente, mesmo não atingindo a resistência prevista na NBR, os pavês pode ser utilizado na construção de calçadas e passeio público, tendo em vista que as cargas para esta finalidade é bem inferior do que previsto na norma. Em outros países como a Austrália e África do Sul, a resistência a compressão mínima é de 25Mpa, já no Brasil é 35Mpa.

Para que a resistência à compressão dos blocos tivesse um resultado melhor, o processo de produção deveria ter sido executado através de mesa vibratória.

Figura 22 (a) Bloco paver (b) Rompimento do corpo de provas



Fonte: Autor, 2014.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos ensaios realizados dos agregados reciclados, podemos concluir que é possível reaproveitar e reciclar os entulhos de construção e demolição de obras, transformando em agregado miúdo reciclado, para substituir o agregado miúdo natural, produzindo novos materiais sustentáveis e ecológicos. Com a utilização deste material, podem-se produzir materiais alternativos, a serem utilizados na construção de calçadas, passeio público, contrapiso, bloco de vedação, meio fio, sarjeta, canaletas, assim podemos contribuir para diminuir o impacto ambiental causado pela indústria da construção civil.

Nestes ensaios pode-se observar que os materiais reciclados apresentaram uma boa aceitação para o reaproveitamento, transformando matéria prima para serem utilizada na própria construção de maneira sustentável.

O agregado miúdo proveniente dos resíduos de construção e demolição de obras apresentou a granulometria dentro dos parâmetros previstos na norma, no que se refere ao modulo de finura de 2,33 mm, a areia reciclada está na zona ótima de utilização.

O resultado obtido com a porcentagem de 25%, 50%, 75% e 100% é inviável para fabricação do paver, pois a NBR 9781/87 determina que a resistência mínima para pavimentação é de 35 Mpa. Portanto, as resistências à compressão exigida pela NBR 9781/87, apresenta valores muito elevados, principalmente pelo fato de que não considera a pavimentação de ambientes de baixas sobrecargas, como calçadas, passeios públicos e ciclovias.

Em outros países a resistência mínima para bloco intertravados é de 25 Mpa, desta forma podemos destacar que os pavers com a utilização de 25%, 50% e 75% de agregados miúdos reciclados pode ser utilizados na construção de calçadas.

Devido ao grande crescimento de reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição de obras, torna-se necessário a elaboração de uma norma técnica que visa definir a resistência à compressão dos blocos pavers com resíduos reciclados, tendo em vista que a resistência à compressão mínima de 20 Mpa é satisfatória para atender as solicitações de baixa sobrecarga como passeios públicos, calçadas e ciclovias.

## **6 PERSPECTIVAS**

Este trabalho de conclusão de curso, não deve ser considerado um estudo concluído, uma vez que amplia as possibilidades e oportunidades de estudos futuros para implementação de projetos sustentável e ecológico no município de Porto Velho RO:

Análise de custo de fabricação de blocos intertravados tipo paver a ser utilizado nas construções de calçadas;

Implantação de uma mini - fabrica de blocos pavers com utilização de mão de obras dos apenados;

Utilização dos agregados graúdos reciclados na construção de base e sub-base de ruas e avenidas na cidade de Porto Velho-RO.

## 7 REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregados para concreto – Especificação**. NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010**. São Paulo, 2011. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>>. Acesso em: 06 de agosto de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. NBR 15113. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 – **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**. NBR 15116. Rio de Janeiro, 2004e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Peças de Concreto para Pavimentação – Método de ensaio**. NBR 9780. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Peças de Concreto para Pavimentação – Especificações**. NBR 9781. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9937: **Agregados: determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: **Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251: **Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (2001) In: **Palestra Pavimentos Intertravados – MKT**. 2001. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 2001.

BRASIL. Lei Federal nº 12305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de resíduos sólidos, altera a lei nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998, e da outras providencias**. Diário oficial da uniao, BRASILIA-DF, 2010.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307**, de 05 de julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acessado em: 17 jan. 2014. Publicado no Diário Oficial da União em 17 jun. 2002.

BRASIL. **Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Publicada no DOU nº 158, de 17 de agosto de 2004, Seção 1, página 70.

CARVALHO, E. M.; FILHO, J. D. A. **Contribuição dos Resíduos Sólidos da Construção Civil e de Demolição para a Crise Ambiental Urbana**. In: 25º Encontro Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do 25º Encontro Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis – SC, 2009.

COSTA, L. L. **Os Impactos da Destinação Inadequada dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Campina Grande – PB**. In: 3º Simpósio Ibero-americano de Ingeniería de Resíduos/2 Seminário da região Nordeste sobre resíduos sólidos, 2009, João Pessoa-PB.

COELHO, P.E.; CHAVES A.P. **Reciclagem de entulho – Uma opção de negócio potencialmente lucrativa e ambientalmente Simpática**. Areia e Brita São Paulo, v.2, n.5, 1998.

DEMAJOROVIC, Jacques. **Da Política Tradicional de Tratamento de Resíduos Sólidos à Política de Gestão de Resíduos Sólidos: as novas prioridades**. RAE. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v. 35, 1995.

FERNANDES, Idário Domingues. **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade**. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda. 2012.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio do Século XXI: o dicionário da Língua Portuguesa**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira. 1999.

FERREIRA, Romário. **Pavimento Intertravados. Como construir na Prática**. Equipe de Obra, São Paulo, ano 8, nº 45, p.32-35, março.2012.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. São Carlos-SP. 202 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo. 2007.

HALLACK, A. (2001). **Pavimento intertravado: Uma solução universal**. Revista prisma. São Paulo, v.1, dezembro 2001.p.25-27.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de São Paulo**. Revista São Paulo em Perspectiva, v. 20, nº 02. São Paulo, 2006. Disponível em: [http://www.seade.sp.gov.br/produtos/spp/v20n02/v20n02\\_07.pdf](http://www.seade.sp.gov.br/produtos/spp/v20n02/v20n02_07.pdf) > Acesso em: 18 de FEV. de 2014.

JONH, V. M. **Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção**. In: CARNEIRO, A.P. BRUM, I.A.S. CASSA. J.C. S (Org). **Reciclagem**

**de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom.** Salvador: DUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** 2001. 194 p. Dissertação (Mestrado) - Escola. Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LIMA, J.A.R. **Proposição de diretrizes para a produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassar e concretos.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos: 1999.204p.

MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil.** São Carlos: RIMA 2005. 162 p.

MONTIBELLER – FILHO, Gilberto. **O Mito Do Desenvolvimento Sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T.P.; GONZALES, J.L.R., (Coord.) **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** Manual de orientação 1. Como implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios. Parceria Técnica entre o Ministério das Cidades, Ministérios do Meio Ambiente e Caixa Econômica Federal. Brasília: CAIXA, 2005.

PUCCI, R. BR. **Logística de Resíduos da construção civil atendendo a Resolução do CONAMA 307.2002.** Dissertação (Mestrado em engenharia). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 2006.

SENÇO, Wlastemiler, **Manual de Técnicas de Pavimentação** - volume 1/ Wlastemiler de Senço. 2. ed. ampl.-- São Paulo: pini,2007.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.**1997. 140p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas,Campinas, 1997.

ZORDAN, S.E.A. **Entulho na indústria da construção civil.** São Paulo: PCC-EPUSO, 2002. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>> Acesso em: 08 out.2014.