



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**USO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE
*PAVERS***

VERLÂNIA LOPES DA SILVA

POMBAL- PB
2013

VERLÂNIA LOPES DA SILVA

**USO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE
*PAVERS***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como um dos requisitos de avaliação para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR

Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias

POMBAL – PB
2013

VERLÂNIA LOPES DA SILVA

**USO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO NA PRODUÇÃO DE
*PAVERS***

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado a Banca Examinadora para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental, e aprovado em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

APROVADO EM: 13/09/2013

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias
Orientador – UACTA/CCTA/UFCG

Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque
Examinador Interno – UACTA/CCTA/UFCG

M. Sc. Talita Gabrielle Aragão
Examinador Externo – AESA

Pombal – PB
2013

Dedico este trabalho a Deus, como todas as minhas conquistas, pois Ele sempre esteve à frente de cada passo que dei, guiando-me por caminhos de vitórias. Dedico aos meus pais, Valdeci Pereira Lopes e Maria Lúcia da Silva Lopes, pelos ensinamentos de vida, incentivo ao estudo e compreensão nos momentos difíceis.

Ao meu irmão Valberlânio Lopes e ao meu noivo Afonso Webe, pelo apoio e força em todos os momentos para que eu realizasse este sonho.

Minha eterna gratidão!

AGRADECIMENTOS

As nossas conquistas são fruto de grande esforço pessoal e colaboração de muitas pessoas. O apoio de todos foi fundamental para realização desta pesquisa e não é possível encerrá-la sem antes agradecer, em especial a Deus, pela oportunidade de vida e por sempre estar ao meu lado.

Deus, muito obrigada por todas as coisas boas e pessoas essenciais em minha vida, que demonstraram ao longo de toda essa trajetória o verdadeiro significado da amizade, companheirismo, sabedoria e dedicação ao fruto da realização deste trabalho.

A minha mãe, Maria Lúcia da Silva Lopes, pela dedicação e incentivo intensos à minha formação pessoal, acadêmica, com valorosos conselhos, que me levaram sempre a decisões coerentes e corretas. A meu pai, Valdeci Pereira Lopes, que sempre esteve torcendo por mim.

Ao meu irmão Valberlânio Lopes pelo amor, dedicação, incentivos a minha formação e que sempre esteve torcendo por mim. Ao meu noivo, Afonso Webe uma pessoa demasiadamente especial que Deus me presenteou, tornando meus dias mais felizes.

Ao Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias pela sua paciência, compreensão, excelente orientação ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, e que sem dúvida contribuiu bastante para a realização da mesma.

Aos professores do CCTA – UFCG, pela sabedoria e aprendizado. Ao técnico do Laboratório de Resíduos Sólidos do CCTA- UFCG, Emanuel Farias, pelo grande auxílio na confecção dos componentes estudados e na execução dos ensaios.

Aos examinadores, Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque e a M. Sc. Talita Gabrielle de Aragão, por terem aceitado de tão boa vontade o convite para compor a banca examinadora, apesar do curto tempo que tiveram para ler esta monografia.

Aos meus colegas do curso de Engenharia Ambiental, em especial a Roaga Bezerra, José Wagner, Gilliano Fontes, Elma Onias, Ricardo Ricelli, enfim a todos, sobretudo pela amizade, companheirismo ajuda e incentivo em tantas conversas, trabalhos em conjunto e dificuldades enfrentadas durante todo o curso.

E a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

RESUMO

O manejo inadequado dos resíduos de construção e demolição tem causado impactos ambientais negativos nos ecossistemas terrestre, aquático e/ou atmosférico. Estes impactos, juntamente com o provável esgotamento das matérias primas, incentivam a busca por meios para aproveitar os resíduos de construção e demolição. O objetivo deste estudo é verificar o desempenho de blocos intertravados para pavimentos, também conhecidos como *pavers*, produzidos com a substituição de agregados naturais por entulhos triturados oriundos de uma obra de demolição localizada na cidade de Pombal – PB. Para isso, considerou-se o traço 1:4 (cimento: agregados) com diferentes porcentagens de substituição dos agregados naturais pelos entulhos triturados. O procedimento consistiu na moldagem dos *pavers* e na obtenção de suas características físicas e mecânicas, enfatizando-se a resistência à compressão simples e a absorção de água. Os ensaios foram realizados aos três e 28 dias de cura e as substituições de agregados naturais por entulhos foram nas proporções de 0%, 50% e 100%. Os resultados revelam o potencial do uso de resíduos de demolição como substitutos aos agregados naturais na fabricação de *pavers*, que pode ser considerada uma alternativa promissora na mitigação de problemas de caráter ambiental, social e econômico.

Palavras-chave: Entulhos, pavimento intertravado, resistência à compressão, absorção.

USE OF DEMOLITION WASTES AS AGGREGATE IN THE PRODUCTION OF PAVERS

ABSTRACT

The improper management of construction and demolition wastes has caused negative environmental impacts in terrestrial, aquatic and atmospheric ecosystems. Such impacts, together with the probable depletion of raw materials, encourage the search for means to reuse or recycle construction and demolition wastes. The objective of this study is to verify the performance of pavers produced with the replacement of natural aggregates by triturated wastes from a demolition work in the city of Pombal – PB, Brazil. For this, it was considered a ratio of 1:4 (cement: aggregate) with different percentages of replacement of the natural aggregates by triturated wastes. The procedure consisted of molding pavers and obtaining their physical and mechanical properties, emphasizing the compressive strength and water absorption. The tests were carried out at the 3rd and 28th days of cure, and the substitutions of natural by alternative aggregates were carried out under the ratios of 0%, 50% and 100%. The results reveal that demolition wastes have potential to be used as substitutes of natural aggregates in the production of pavers, which can be considered to be a promising alternative to mitigate environmental, social and economic-related problems.

Keywords: Wastes, pavers, compressive strength, absorption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Passarela do Câmpus Universitário em Pombal – PB.....	15
Figura 2 - Agregado miúdo Natural(Areia)	16
Figura 3 - Brita Zero Granítica utilizada na pesquisa	17
Figura 4 - Entulho coletado em estado bruto	18
Figura 5 - Fluxograma com etapas da pesquisa.....	19
Figura 6 - Segregação dos materiais presente na amostra.	20
Figura 7 - Britador de mandíbulas usado para a britagem do entulho.....	21
Figura 8 - Teste de mão ou Método do Ponto de Pelota.	22
Figura 9 - Fôrma de madeira utilizada na moldagem.	23
Figura 10 - <i>Pavers</i> em processo de cura	24
Figura 11 - <i>Pavers</i> sendo capeados com pasta de cimento e água.	24
Figura 12 - Prensagem do paver no momento da ruptura.	26
Figura 13 - Amostras em processo de secagem na estufa.....	27
Gráfico 1 - Percentual detalhado de cada material presente na amostra coletada.....	28
Gráfico 2 - Curva granulométrica dos agregados utilizados na pesquisa.	29
Gráfico 3 - Resultados de resistência média dos <i>pavers</i>	30
Gráfico 4 - Resultados do ensaio de resistência característica dos <i>pavers</i>	30
Gráfico 5 - Resultados de absorção média dos <i>pavers</i>	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões dos <i>pavers</i> estudados.	23
Tabela 2 - Identificação dos <i>pavers</i> ensaiados (traço 1:4).....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Breve históricos dos entulhos da construção civil	12
2.2	Origem e composição dos entulhos	12
2.3	Aspecto legal e consequências da disposição inadequada dos entulhos	13
2.4	Blocos intertravados para pavimentação (<i>pavers</i>)	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1	Materiais utilizados para moldagem dos <i>pavers</i>	16
3.1.1	<i>Cimento Portland</i>	16
3.1.2	<i>Agregado miúdo natural (areia)</i>	16
3.1.3	<i>Agregado graúdo natural (brita)</i>	17
3.1.4	<i>Agregado Alternativo (Entulhos)</i>	17
3.1.5	<i>Água</i>	18
3.2	Etapas para confecção e avaliação dos <i>pavers</i>	18
3.2.1	<i>Composição gravimétrica dos entulhos</i>	20
3.2.2	<i>Britagem dos entulhos</i>	20
3.2.3	<i>Composição granulométrica dos agregados naturais e dos entulhos triturados</i>	21
3.2.4	<i>Dosagem para produção dos pavers</i>	21
3.2.5	<i>Moldagem dos pavers</i>	22
3.2.6	<i>Processo de cura dos pavers</i>	23
3.2.7	<i>Capeamento dos pavers</i>	24
3.2.8	<i>Ensaio de resistência à compressão simples</i>	24
3.2.9	<i>Ensaio de absorção de água</i>	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	Ensaio de caracterização dos entulhos	28
4.1.1	Composição granulométrica dos agregados	28
4.1.2	Dosagem	29
4.1.3	Resistência à compressão simples	30
4.1.4	Absorção de água	31
5	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, os seres humanos vêm explorando de forma descontrolada os recursos naturais para produzir os mais diversos tipos de materiais. Essa exploração tem sido intensificada pelo crescimento populacional e acelerado processo de industrialização, o que contribui para ampliação significativa da geração de resíduos sólidos. O manejo inadequado destes resíduos é responsável por alterações no meio ambiente, as quais comprometem negativamente a qualidade do solo, ar e corpos hídricos (JÚNIOR, 2007).

Os problemas relacionados com a disposição inadequada de resíduos da construção civil despertam a curiosidade de estudiosos de modo a valorizar o aproveitamento desses entulhos de uma forma geral. Uma forte razão, além das questões ambientais, está atrelada ao esgotamento das reservas de matérias-primas, que devido à exploração acelerada e inadequada, exige dos governos e sociedade uma solução rápida e precisa (OLIVEIRA, 2004).

Os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil possuem significativa importância, principalmente aqueles relacionados ao consumo de recursos naturais e à geração de resíduos sólidos. De acordo com Pinto e Gonzáles (2005) apud Júnior (2007), os resíduos da construção civil no Brasil são de diferentes origens, destacando-se a grande quantidade de resíduos que são gerados em reformas e demolições. Pinto (2005) aponta que em alguns municípios brasileiros mais de 75% dos resíduos da construção civil são provenientes de construções informais (obras não licenciadas).

De acordo com a Resolução CONAMA n.º 307 de 2002, os resíduos da construção civil são gerados em demolições, edificações, reformas, reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, terraplenagem, etc. Segundo Ramos (2007), estes resíduos, definidos como resíduos da construção civil (RCC) e também conhecidos como resíduos de construção e demolição (RCD) possuem heterogeneidade em sua composição devido à variabilidade dos processos construtivos e de demolições. Nessa resolução também existe a cobrança para que os grandes geradores elaborem e apresentem, para aprovação junto aos órgãos competentes municipais, o plano de gerenciamento da obra a ser executada, devendo incluir um plano para caracterização dos resíduos produzidos, os procedimentos de triagem, acondicionamento, transporte e destinação final (JÚNIOR, 2007).

De acordo com Oliveira (2004), uma das alternativas encontradas para o aproveitamento de resíduos sólidos é a sua incorporação em materiais destinados à

construção civil, tendo como parâmetro alguns exemplos nacionais e internacionais de experiências bem sucedidas.

Segundo Zordan (2013), a forma mais simples de reciclagem dos resíduos de construção civil é a sua utilização em pavimentação. Nesse uso, podem-se empregar os mais diversos tipos de RCC, até mesmo com solo misturado, desde que nessa mistura o solo não se faça presente numa quantidade maior que 50% do peso da mistura.

Júnior (2007) relata que a aplicação de agregado reciclado na execução de camadas de pavimentação já possui tecnologia consolidada e que já está padronizada por meio da NBR 15.115:2004. Segundo Cincotto (1988), a construção civil é um dos setores com maior potencial para absorver os seus próprios resíduos. O grande volume de matérias-primas e a diversidade de materiais empregados na produção tornam mais amplas as opções de utilização dos entulhos de construção e demolição.

A escassez dos recursos naturais, os altos custos dos componentes de engenharia e os problemas causados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos são os principais responsáveis pelo desenvolvimento de estudos sobre a reciclagem de resíduos nos mais variados setores (FARIAS, 2006).

A utilização de blocos pré-moldados (ou *pavers*) para pavimentação intertravada tem se intensificado no Brasil e em vários lugares do mundo, uma vez que é um sistema prático e viável. Os *pavers* podem ser definidos como blocos maciços pré-fabricados de argamassa ou concreto que permitem pavimentar uma superfície por completo (FIORITI, 2007).

Esta pesquisa tem como objetivo geral demonstrar a possibilidade do uso de entulhos oriundos de uma obra de demolição localizada na cidade de Pombal – PB, para a fabricação de *pavers*, visando à minimização do desperdício do setor construtivo e a mitigação de problemas de caráter ambiental. Para se alcançar o objetivo geral é necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar as matérias-primas e entulhos utilizados para fabricação dos *pavers*;
- Confeccionar *pavers* com diferentes composições de entulhos;
- Avaliar o comportamento físico e mecânico dos *pavers* para diferentes tempos de cura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve históricos dos entulhos da construção civil

A origem da construção civil e a conseqüente geração de entulhos têm raízes tão antigas que se perdem na história da humanidade e desde os primórdios foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto grande quantidade de entulho mineral (OLIVEIRA, 2004). O uso de resíduos para produção de novas obras tem sido noticiado desde o Império Romano, mas é somente a partir do início do século XX que se tem registro da realização de estudos sistemáticos nesta área. Desde então, parâmetros como fator água/cimento e a porosidade e granulometria de agregados passaram a serem investigados com maiores detalhes (FARIAS, 2006).

As pesquisas sobre reciclagem de resíduos da construção civil se intensificaram após a Segunda Guerra Mundial devido ao grande volume de entulhos de obras destruídas e da grande demanda por material para reconstrução das cidades europeias. Nos Estados Unidos, a reciclagem de entulhos acontece desde 1964 em diversas áreas da construção civil, em especial no campo da pavimentação (OLIVEIRA, 2004). Países como Japão, Itália, Dinamarca, Holanda, França, Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e Irlanda já possuem leis exigindo o uso de materiais reciclados e, inclusive, várias unidades de reciclagem de entulhos instaladas (FARIAS, 2006). No Brasil, apesar dos estudos sobre reciclagem de entulhos terem iniciado com Pinto (1986), as primeiras usinas de reciclagem só começaram a operar em 1995.

No estado da Paraíba, a Universidade Federal de Campina Grande realiza estudos sobre reciclagem e reutilização de entulhos desde 1996, tendo publicado diversos trabalhos científicos nesta área (Oliveira, 2004; Farias 2006). Farias (2006), por exemplo, avaliou o uso de redes neurais artificiais na determinação de dosagens para produção de blocos de concreto com resíduos da construção civil.

2.2 Origem e composição dos entulhos

A principal origem dos entulhos encontra-se no ramo da construção civil, em uma das seguintes atividades: construção, demolição ou reforma.

Os resíduos sólidos de construção e demolição (RCD) possuem características peculiares por serem produzidos num setor em que há uma diversificada quantidade de

técnicas e metodologias empregadas. Esses resíduos possuem características que dependem muito da fonte que os originaram, ou seja, do estágio de desenvolvimento da indústria de construção local (ZORDAN, 2013). Os entulhos, os mais heterogêneos dentre os resíduos industriais, são constituídos de restos de praticamente todos os materiais de construção (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeira, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos, tintas etc.). A sua composição química está ligada à composição de cada um de seus constituintes (ZORDAN, 2013).

A composição dos RCD ainda depende de uma série de fatores, tais como a região geográfica da obra, época do ano, tipo de obra e outros. Tal variabilidade é refletida nos agregados reciclados produzidos (CABRAL, 2007).

Segundo Cabral (2007) as características dos resíduos de demolição variam de acordo com o tipo de estrutura a ser demolida e da técnica utilizada, sendo encontrado um alto percentual de material inerte, como tijolos, areia e concreto.

O estudo da composição dos resíduos da construção civil é de extrema importância para sua reciclagem, uma vez que as suas propriedades são diretamente influenciadas pelas características de seus constituintes (OLIVEIRA, 2004). De uma maneira geral, a grande maioria dos RCD tem grande potencial para ser reciclado.

2.3 Aspecto legal e consequências da disposição inadequada dos entulhos

Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto à periculosidade, de acordo com a NBR 10.004:2004 da ABNT, em perigosos e não-perigosos, sendo estes últimos ainda subdivididos em não-perigosos não-inertes e não-perigosos inertes.

Segundo a Resolução n.º 307:2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), os resíduos da construção civil devem ser classificados da seguinte forma:

- I – Classe 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 infra-estrutura, 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.
- II – Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como:
 - plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

III – Classe C: 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.

IV – Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei n.º 12305/2010, deixa explícito no Inciso II do seu Art. 7.º que um dos seus objetivos é a “*não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos*”. Em seu Inciso VI do mesmo artigo, percebe-se também o “*incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados*”.

Vários países consideram os restos de construção e demolição como lixo inerte e, portanto, não prejudicial. Além de equivocado, esta consideração faz com que o problema fique cada vez maior. O aumento da geração de entulhos é decorrente de um padrão de produção e consumo insustentável que, ao lado do manejo inadequado, principalmente nas etapas que envolvem o destino dos resíduos, tem provocado efeitos indesejáveis e até mesmo irreversíveis (FARIAS, 2006).

Segundo Farias (2006), algumas consequências negativas da má disposição dos entulhos são:

- assoreamento de rios e córregos;
- enchentes;
- favorecimento da proliferação de vetores de doenças;
- poluição do solo, água e ar; e
- poluição visual.

2.4 Blocos intertravados para pavimentação (*pavers*)

O DNIT (2003) define pavimentação como “*camadas constituídas por solos, britas de rochas, de escória de alto forno, ou ainda, pela mistura desses materiais*”. A utilização de peças segmentadas para a execução de pavimentos é uma técnica empregada desde a idade média. Os pavimentos intertravados são, portanto, uma opção para uso em ruas, calçadas e praças (BITTENCOURT, 2012).

Segundo Amadei (2007), a pavimentação intertravada tem conseguido espaço nos pavimentos urbanos do país e as principais vantagens do seu uso são a facilidade de assentamento, a liberação para o tráfego rapidamente, a acessibilidade às redes subterrâneas e a praticidade na manutenção.

Os *pavers* são considerados uma alternativa moderna, racional, e com eficácia técnica, econômica e ambiental, em que podem ser incorporados vários tipos de materiais reciclados e/ou reaproveitados (SILVA, 2013). A Figura 1 ilustra a passarela do câmpus universitário de Pombal - PB, que foi construída com pavimentação intertravada.

Figura 1 – Passarela do câmpus universitário em Pombal - PB.



Fonte: (SILVA, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo buscou avaliar o potencial do uso de entulhos oriundos de uma obra de demolição da cidade de Pombal - PB para confecção de blocos de pavimentação intertravada (*pavers*). Para isso, critérios e padrões disponíveis nas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foram seguidos.

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Resíduos Sólidos (LABRES) do Câmpus de Pombal – UFCG, com exceção do beneficiamento do entulho, que foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Materiais da UFCG na cidade de Campina Grande.

3.1 Materiais utilizados para moldagem dos *pavers*

3.1.1 Cimento Portland

Os *pavers* foram confeccionados com cimento da marca MIZU CP II-Z-32 que, segundo a norma ABNT – NBR 11.578/91 apresenta teor de fíler de calcário (0-10%) e uma adição de material pozolânico (6-14%), permitindo assim uma menor permeabilidade.

3.1.2 Agregado miúdo natural (areia)

A areia usada neste trabalho é proveniente do rio Piancó, Pombal - PB. As amostras de areia foram colocadas para secar ao sol e ar livre e, posteriormente, foram peneiradas e utilizadas nos traços adotados com as devidas proporções estudadas para os agregados. Pode-se ver na figura 2 a areia utilizada na pesquisa.

Figura 2 – Agregado miúdo natural (areia).



Fonte: Arquivo pessoal.

3.1.3 Agregado graúdo natural (brita)

O agregado graúdo natural escolhido foi a brita zero granítica, também conhecida comercialmente por pedrisco, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Brita zero granítica utilizada na pesquisa.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.1.4 Agregado Alternativo (Entulhos)

Considerando a variabilidade do agregado de entulhos em função de sua origem (demolição, reforma ou construção), optou-se por trabalhar apenas com resíduos de demolição. O local escolhido para a coleta dos resíduos foi o prédio onde funcionava a indústria Brasil Oiticica, Pombal - PB, que foi recentemente demolida. A figura 4 ilustra a os entulhos coletados para esse experimento.

Figura 4 - Entulho coletado em estado bruto.



Fonte: Arquivo pessoal.

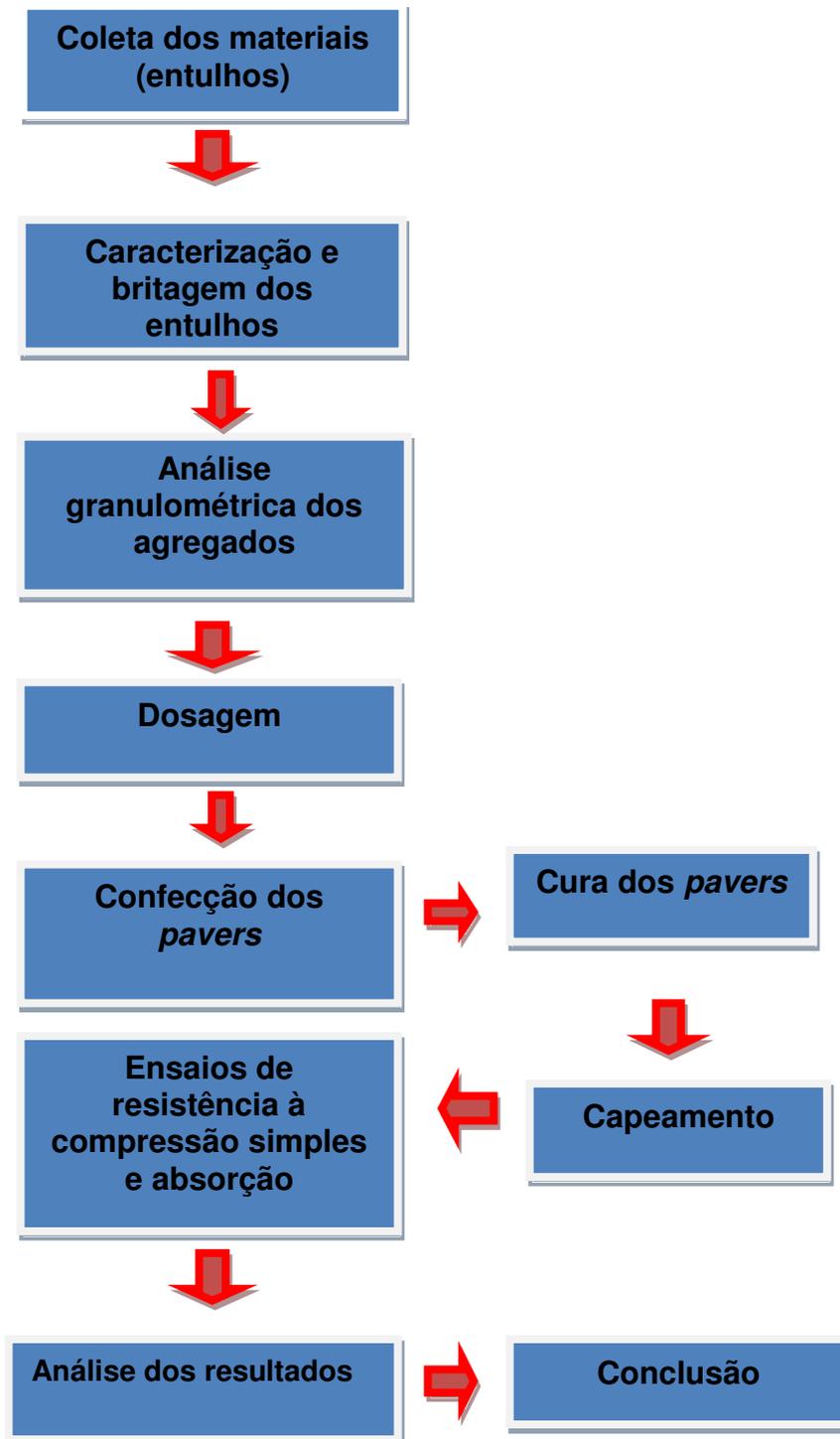
3.1.5 Água

A água utilizada foi proveniente do abastecimento que é realizado pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba).

3.2 Etapas para confecção e avaliação dos *pavers*

O fluxograma ilustrado na Figura 5 representa uma simplificação das etapas realizadas durante a execução da pesquisa.

Figura 5 – Fluxograma com etapas da pesquisa.



3.2.1 Composição gravimétrica dos entulhos

Logo após a coleta dos resíduos, foi feita a pesagem dos mesmos obtendo-se a sua massa total. Com o intuito de se conhecer os materiais constituintes, foram realizados ensaios de análise de composição gravimétrica. Inicialmente espalhou-se o material coletado em uma lona para identificação dos mesmos. A separação dos materiais foi conduzida no Laboratório de Resíduos Sólidos (LABRES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Câmpus de Pombal, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Segregação dos materiais presente na amostra.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.2 Britagem dos entulhos

Os entulhos foram triturados em britador de mandíbulas e posteriormente passaram por um processo de peneiramento para obtenção de um material alternativo com dimensão máxima equivalente a do agregado graúdo natural utilizado na pesquisa, que foi de 9,5 mm. O beneficiamento dos resíduos foi realizado nas dependências do Laboratório de Tecnologia de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG, na cidade de Campina Grande - PB, como observado na Figura 7. Os entulhos, depois de triturados, também foram secos ao sol e ar livre.

Figura 7 – Britador de mandíbulas usado para a britagem do entulho.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.3 Composição granulométrica dos agregados naturais e dos entulhos triturados

Após a britagem, foram executados os ensaios de composição granulométrica dos entulhos triturados, assim como dos agregados miúdos e graúdos, todas conforme a NBR 7211/2009.

3.2.4 Dosagem para produção dos pavers

Para a confecção dos *pavers*, (compostos por cimento Portland, água, agregados miúdo, graúdo e entulhos), adotou-se um controle rigoroso na mistura dos materiais, para reduzir a variabilidade e a dispersão dos resultados a serem obtidos.

A escolha do traço é função principalmente da resistência desejada, variando com o tipo de equipamento empregado na moldagem e, principalmente, com a granulometria dos agregados. Os *pavers* convencionais produzidos nesta pesquisa foram moldados com traço fixo em massa, com cimento, areia e brita na proporção 1:2: 2 em massa. Já para os blocos alternativos foram utilizadas as proporções de 50% e 100% de entulhos triturados

em substituição aos agregados naturais. Sempre se trabalhou com os agregados secos, permitindo um melhor controle da relação água/cimento (a/c) das misturas estudadas.

Como não havia um teste de consistência ou trabalhabilidade específico para determinar a melhor relação água/cimento para cada composição, utilizou-se o método sugerido por Hood (2006) para definir a melhor proporção. Este método, conhecido como Método do Ponto de Pelota ou teste da mão, corresponde à máxima quantidade de água permitida na moldagem da pelota sem que a sua forma possa sofrer algum tipo de alteração, seja por excesso ou por falta de água. A Figura 8 mostra como é feito o teste da mão.

Figura 8 – Teste da mão ou método do ponto de pelota.



Fonte: Ensaio realizado pela autora.

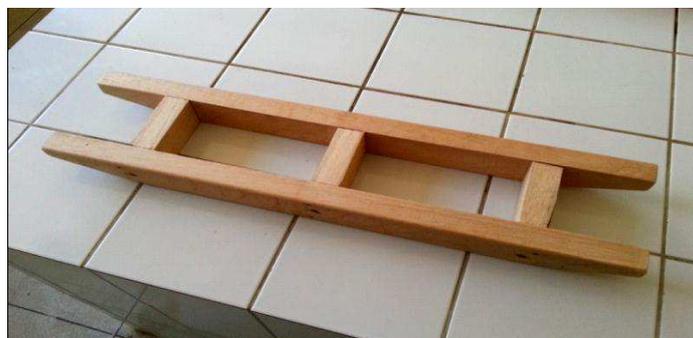
De acordo com estudos realizados por Leite (2001), a trabalhabilidade do concreto é uma das propriedades mais afetadas pelo uso de agregados reciclados, em virtude de suas formas irregulares, texturas muito ásperas e altas taxas de absorção.

3.2.5 Moldagem dos pavers

A fabricação dos blocos de concreto para pavimentação se deu no LABRES, UFCG. Os ensaios foram realizados aos 3 e 28 dias de cura e as substituições de agregados naturais por entulhos triturados foram nas proporções de 0, 50 e 100%. Como consequência, foram confeccionados 36 *pavers*, sendo seis para cada composição e

períodos de cura determinados. A Figura 9 ilustra a fôrma manual utilizada na moldagem dos *pavers*.

Figura 9 – Fôrma de madeira utilizada na moldagem.



Fonte: Arquivo pessoal.

A Tabela 1 mostra as dimensões dos *pavers* deste estudo.

Tabela 1– Dimensões dos *pavers* estudados.

Blocos	Dimensões (altura x largura x comprimento)
<i>Pavers</i>	06 cm x 10 cm x 20 cm

Fonte: Dados da pesquisa.

3.2.6 Processo de cura dos *pavers*

Depois de moldados, os *pavers* foram deixados dentro do LABRES com temperatura de $23 \pm 0,5$ °C por um período de aproximadamente 12 horas. Durante estas 12 horas, os blocos foram umidificados três vezes por meio de borrifadores, de modo a minimizar a perda de umidade. Logo após as 12 horas, os blocos foram imersos em tambores e caixas de plástico com água, dando continuidade ao regime de cura até as respectivas idades de controle. Para todas as composições estudadas, foram adotados os seguintes tempos de cura: 3 e 28 dias. Estes períodos são considerados razoáveis, uma vez que na prática, buscam-se ter *pavers* prontos para comercialização e utilização já após os primeiros 3 dias de cura. Pode-se observar na figura 10 os *pavers* em processo de cura.

Figura 10 – Pavers em processo de cura.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.7 Capeamento dos pavers

Antes de serem submetidos aos testes de resistência à compressão simples, os *pavers* foram capeados com uma pasta de cimento e água, e modo a garantir que as suas superfícies fossem as mais uniformes possíveis. A função do capeamento é eliminar as irregularidades na superfície dos componentes, de maneira que não possam causar concentrações de tensões durante os ensaios de compressão. A Figura 11 ilustra o processo de capeamento.

Figura 11 – Pavers sendo capeados com pasta de cimento e água.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.8 Ensaios de resistência à compressão simples

Os ensaios de resistência à compressão seguiram o preconizado pela norma NBR 9780/1987 para cada composição e idade de cura estudada. A NBR 9781/1987 especifica que os valores de resistência a compressão simples devem ser maiores ou iguais a 35 MPa para as solicitações de veículos comerciais e de linha, e maiores ou iguais a 50 MPa quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.

O equipamento utilizado para a realização de tal ensaio é o disponibilizado pelo LABRES, UFCG: uma Máquina Universal de Ensaio – MEU da marca Marconi. O equipamento utilizado possui capacidade máxima de 100 toneladas. Antes da realização dos ensaios de compressão, todas as peças passaram por uma análise dimensional, determinando altura, largura e comprimento. Cada *paver* submetido ao teste de resistência foi devidamente alinhado na prensa para que o seu centro de gravidade coincidissem com o alinhamento do centro das placas auxiliares, de modo que os carregamentos fossem bem distribuídos até o momento da ruptura, conforme mostra a Figura 12. Concluído o ensaio, anotou-se a carga, em N, que produziu a ruptura do *paver* para posteriormente proceder com o cálculo da tensão de ruptura das peças individualmente, denominadas de resistências individuais f_{pi} , sendo resultado da razão entre carga, em N, e a área da peça, em mm^2 . Os resultados de resistência foram obtidos a partir da média de seis amostras. A média dos valores individuais resulta na resistência média f_p . Contudo, a resistência a ser considerada é dada pelo valor característico f_{pk} que corresponde ao limite inferior do intervalo de confiança a um nível de confiança de 80%.

Figura 12 – Prensagem do *paver* no momento da ruptura.



Fonte: Ensaio realizado pela autora.

3.2.9 Ensaio de absorção de água

A absorção de água é uma característica importante a ser considerada, pois se pode mensurar a durabilidade dos *pavers*, indicando o volume de vazios existentes e, com isso, a sua permeabilidade (CRUZ, 2003). A absorção de água por imersão está relacionada com a medição do volume de poros de uma peça. Quando se monitora a absorção de água, na realidade está se procurando determinar o total dos poros permeáveis na estrutura de concreto.

Este ensaio foi executado no LABRES, UFCG, seguindo a NBR 12118/2010. Foram utilizadas seis amostras para cada traço e idade de cura. Os valores individuais de absorção foram calculados também segundo a norma citada. Os resultados são as médias dos valores encontrados para as amostras retiradas dos *pavers* originais, desde que a massa não fosse menor do que 10% da massa do mesmo. Na Figura 13 pode-se observar as amostras em processo de secagem na estufa.

Figura 13 – Amostras em processo de secagem na estufa.



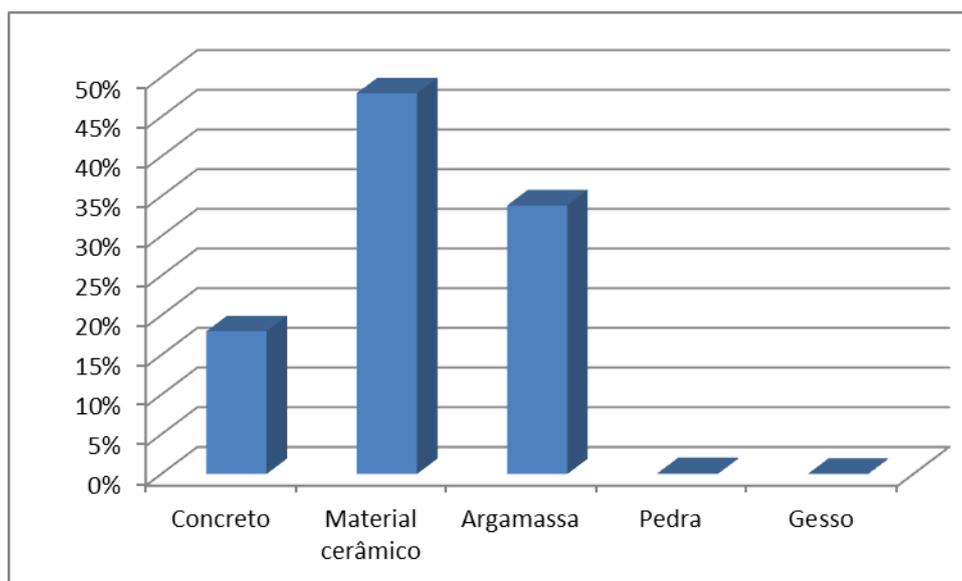
Fonte: Ensaio realizado pela autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaio de caracterização dos entulhos

A composição gravimétrica da porção de entulhos coletados para este estudo está mostrada no Gráfico 1. Nota-se que cerca de 48% dos resíduos da obra de demolição abordada são materiais cerâmicos e apenas 0,14% consiste de pedra e gesso.

Gráfico 1 – Percentual de cada material presente na amostra coletada.

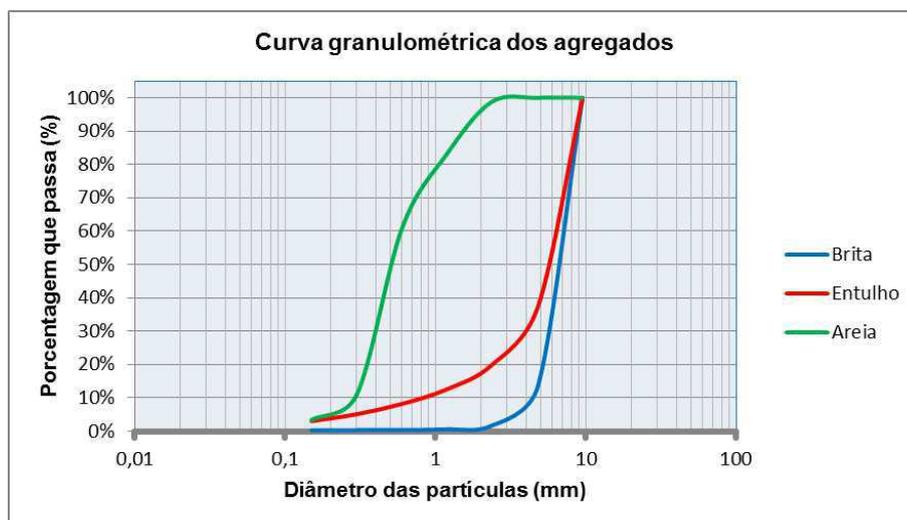


Fonte: Ensaio realizado pela autora.

4.1.1 Composição granulométrica dos agregados

O Gráfico 2 ilustra os resultados da análise granulométrica obtido para os agregados utilizados na pesquisa. A areia usada apresentou diâmetro máximo ($\Phi_{\text{máx}}$) igual a 4,8 mm e módulo de finura (MF) igual a 3,43, estando dentro da zona utilizável para confecção de concreto. A composição granulométrica do agregado graúdo (brita) apresentou $\Phi_{\text{máx}}$ e MF de 9,5mm e 6,83, respectivamente. Já os resíduos triturados apresentaram $\Phi_{\text{máx}}$ e MF iguais a 9,5mm e 6,14, respectivamente.

Gráfico 2 – Curva granulométrica dos agregados utilizados na pesquisa.



Fonte: Ensaio realizado pela autora

4.1.2 Dosagem

A Tabela 2 apresenta os valores ideais encontrados para relação a/c com base no teste da mão, assim como também estão identificados os *pavers* produzidos para cada teor de substituição dos agregados naturais pelos entulhos triturados de demolição.

Tabela 2 – Identificação dos *pavers* ensaiados (traço 1:4).

	Traço (em massa)		Relação a/c	
	Teor de resíduos nas misturas		c: a: b: r	
Convencional	P0	0%	1: 2: 2: 0	0,50
Alternativos	P50	50%	1: 1: 1: 2	0,63
	P100	100%	1: 0: 0: 4	0,92

Obs.: c = cimento; a = areia; b = brita; r = resíduo de demolição.

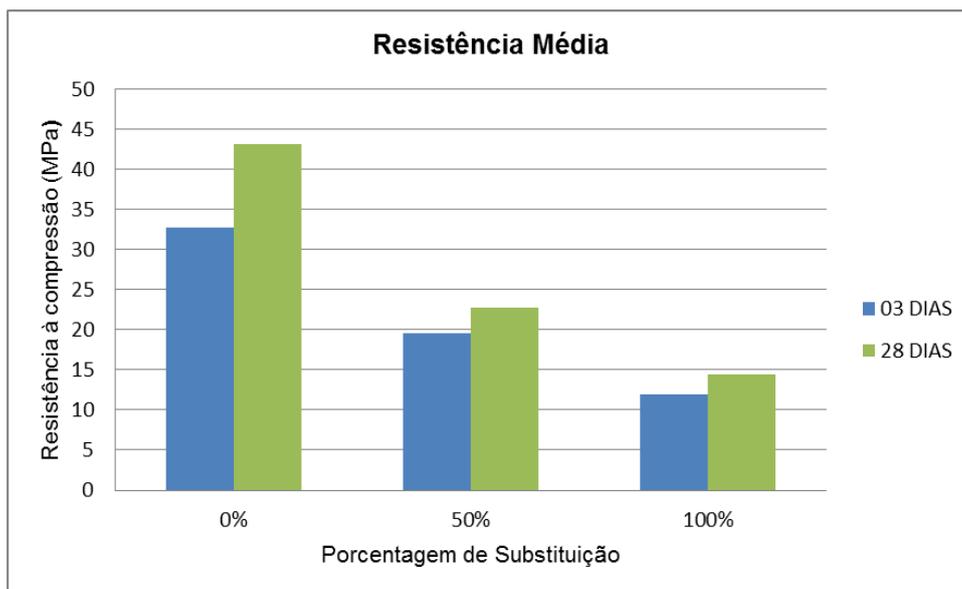
Fonte: Ensaio realizado pela autora.

Percebeu-se que quanto maior a quantidade de agregados reciclados no traço, maior era a necessidade de água, o que levou a um aumento no teor de umidade nas composições de 50 e 100% em substituição aos agregados naturais. Isto ocorreu provavelmente em virtude da maior absorção do agregado reciclado em relação aos agregados naturais, necessitando de mais água para que se verificasse o ponto de pelota.

4.1.3 Resistência à compressão simples

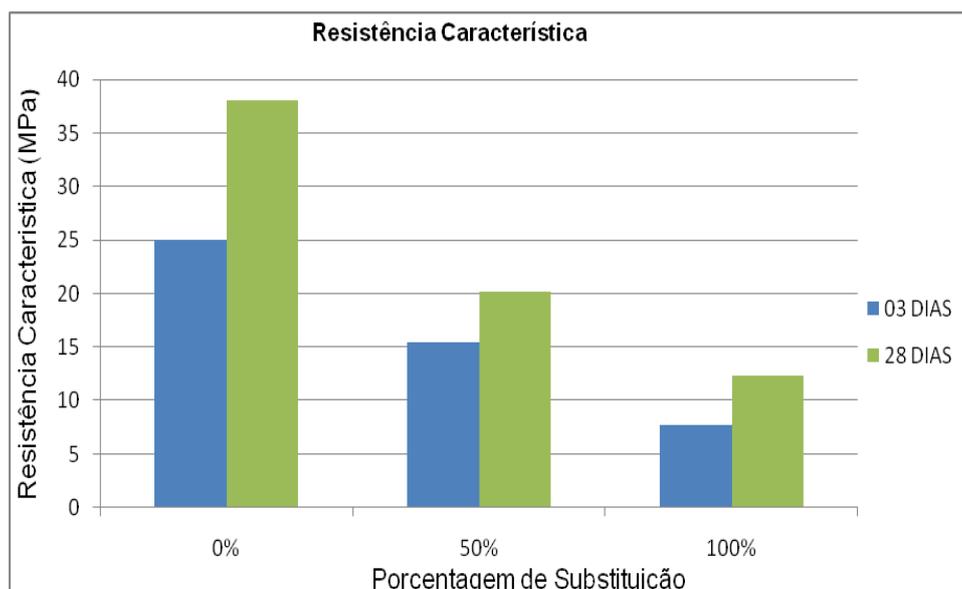
Os Gráficos 3 e 4 apresentam os resultados da resistência média e característica dos *pavers*, respectivamente. Observando estes gráficos, nota-se que todas as composições apresentaram aumento da resistência média e característica ao longo do tempo, o que mostra a importância do processo de cura adotado.

Gráfico 3 – Resultados de resistência média dos *pavers*.



Fonte: Ensaio realizado pela autora.

Gráfico 4 – Resultados de resistência característica dos *pavers*.



Fonte: Ensaio realizado pela autora.

Os resultados observados nos Gráficos 3 e 4 indicam um aumento na resistência dos *pavers* em todas as substituições estudadas ao longo do tempo. Esse aumento em função do tempo de cura já era esperado, pois reflete o progresso da hidratação do cimento.

O traço com teor de 0% de entulhos incorporados apresentou valores médios acima dos 35 MPa no 28º dia, valor preconizado pela norma NBR 9781/1987 para tráfego de veículos leves. Já os *pavers* confeccionados nos teores de 50% e 100% apresentaram uma menor resistência em relação aos *pavers* convencionais, não atendendo às exigências da citada norma.

É também possível observar que, à medida que se aumenta a porcentagem de substituição de agregados naturais por resíduos de demolição, há uma redução na resistência dos *pavers*. Esta situação pode estar ligada às características do agregado reciclado, que exigiu uma maior quantidade de água durante a moldagem para se alcançar a trabalhabilidade, como pode ser visto nas relações a/c estabelecidas na Tabela 2. Quanto mais água livre estiver na massa, mais poros serão deixados nos *pavers* após a sua evaporação e, conseqüentemente, menores resistências serão esperadas.

A moldagem manual realizada neste estudo não contribuiu para um melhor adensamento das partículas, de modo que os espaços vazios promovem uma maior absorção de água e conseqüentemente prejuízos na resistência à compressão simples. Os resultados das resistências à compressão simples de todos os traços desse estudo poderiam ser potencializados caso fosse possível dispor de um sistema de moldagem mecânico com os benefícios do adensamento e da prensagem.

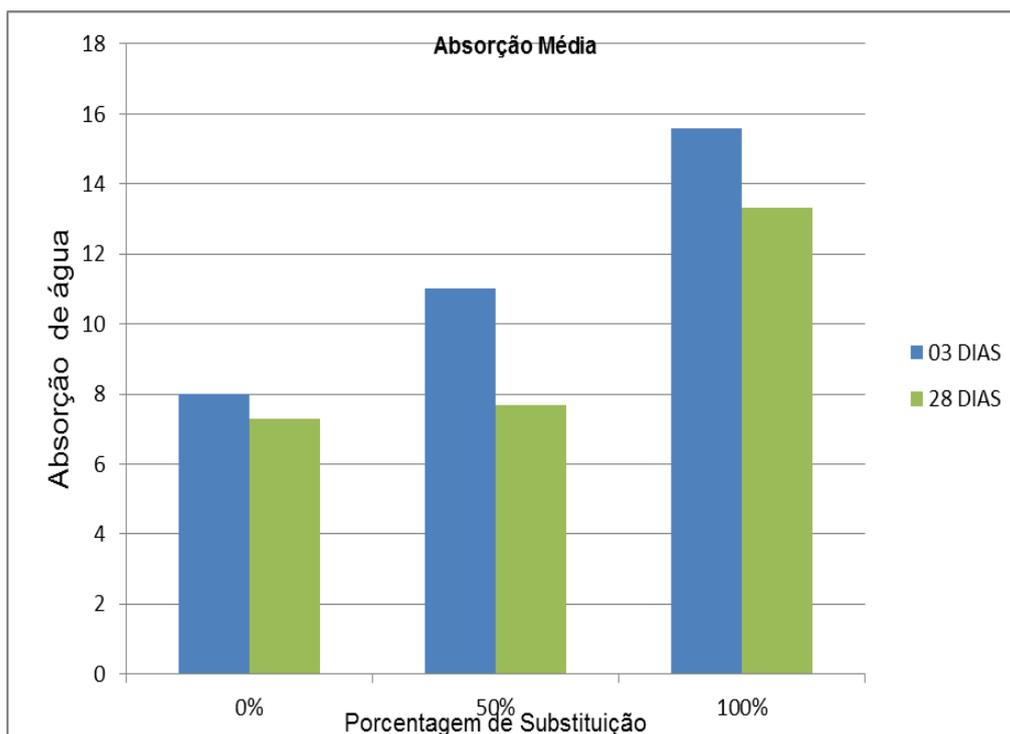
Silva (2013) realizou um estudo sobre a avaliação do desempenho de *pavers* alternativos fabricados com resíduos de caulim. Em sua análise, Silva (2013) observou que houve um aumento da resistência em todas as composições estudadas ao longo do tempo, mostrando assim a importância do processo de cura adotado. Ficou evidenciado ainda, que houve redução de resistência à medida que se tinha uma maior quantidade de resíduos de caulim incorporados na mistura.

4.1.4 Absorção de água

A absorção dos blocos produzidos foi determinada segundo a NBR 12118:2010, no qual os *pavers* foram imersos em água até atingirem suas respectivas idades de controle. O Gráfico 5 ilustra os valores de absorção média dos *pavers* para cada traço e idade de controle estabelecidos.

Nos ensaios de absorção de água aos 28º dias, constatou-se percentuais médios de 7,29; 7,68 e 13,31% para as substituições de 0, 50 e 100% de agregados naturais por reciclados, respectivamente. Portanto, os teores de 0 e 50% de substituição de agregados naturais por reciclados atendem às especificações da NBR 12118/2010, que estabelece um limite máximo de absorção igual a 10%.

Gráfico 5 – Resultados de absorção média dos *pavers*.



Fonte: Ensaio realizado pela autora.

De acordo com os resultados ilustrados no Gráfico 5, observa-se que, com o aumento do tempo de cura dos *pavers*, a absorção diminui em todas as composições estudadas. Isto ocorre porque existe uma tendência natural de preenchimento dos poros na microestrutura do concreto, devido à progressiva hidratação do cimento.

Nota-se que a absorção de água é maior em amostras que contenham mais entulhos. O aumento da relação a/c, que ocorre na medida em que se aumenta o teor de entulhos nos concretos, justifica uma maior porosidade, que se reflete numa crescente absorção de água para os blocos convencionais e alternativos, na ordem de 0, 50 e 100% de entulhos incorporados em substituição aos agregados naturais.

É importante observar que quanto maior a absorção de água, menor era a resistência à compressão simples em todos os tratamentos, resultados totalmente justificáveis em função da porosidade dos *pavers*.

Hood (2006) conclui que o uso de resíduos de construção e demolição em substituição aos agregados naturais para confecção de blocos de concreto para pavimentação revela uma tendência de aumento da absorção de água dos blocos com maiores teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado, sendo que isto possivelmente ocorre em virtude da maior taxa de absorção de água do agregado reciclado e menor compactação dos blocos.

5 CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, os materiais utilizados e a metodologia de ensaio adotada neste trabalho para a fabricação de blocos para pavimentação (*pavers*), pôde-se chegar as seguintes conclusões de caráter geral:

A partir dos ensaios de caracterização pôde-se observar que os agregados naturais utilizados na pesquisa apresentavam características adequadas para produção dos *pavers*. A caracterização do agregado reciclado, obtido a partir dos resíduos triturados, mostrou que o mesmo era viável para substituir os agregados naturais na composição de blocos alternativos.

Observou-se que quanto maior o teor de entulhos, maior era a relação água/cimento nas composições de 50 e 100%. Este aumento se deu devido à alta absorção apresentada pelos próprios resíduos.

Os *pavers* executados com o teor de 0% de agregados reciclados tiveram valores acima dos 35 MPa para 28 dias de cura, estando de acordo com o critério definido pela NBR 9781/1987 para tráfego de veículos leves. Em contrapartida, os *pavers* confeccionados com agregados reciclados apresentaram valores de resistência característica inferiores aos exigidos pela norma brasileira, cabendo aqui ressaltar que a norma não trata de tráfegos que exigem menores sobrecargas, como praças, calçadas, passarelas, entre outros.

Na análise dos resultados ficou evidenciado o decréscimo da resistência à compressão dos *pavers* à medida que se tinha um incremento do teor de substituição de agregados naturais por reciclados. Apesar dos resultados não estarem de acordo com o preconizado na NBR 9781/1987, as implicações deste trabalho são promissoras, principalmente quando se leva em consideração que a moldagem dos *pavers* foi realizada de forma manual, sem os benefícios da vibração e prensagem. Apesar de não se enquadrarem na norma técnica, os *pavers* apresentaram índices satisfatórios para serem empregados em locais que exijam baixas solicitações de tráfego.

Os resultados de absorção apresentaram decréscimo ao longo das idades de controle em todas as composições estudadas. Esse comportamento está coerente, pois a tendência natural com o progresso da hidratação (aumento do tempo de cura) das partículas de cimento é o preenchimento dos poros (diminuição dos vazios) na microestrutura do concreto que repercute na redução da absorção dos *pavers* avaliados. É importante destacar que a absorção foi maior em amostras que continham mais

entulhos. Este resultado foi, provavelmente, em função das maiores relações água/cimento necessárias para se alcançar a trabalhabilidade.

Pode-se concluir também que os valores de resistência à compressão simples foram inversamente proporcionais aos valores de absorção, o que é coerente, uma vez que, teoricamente, quanto menor a porosidade, maior é a resistência à compressão simples.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADEI, D. I. B. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do município de Juranda/PR**. 2011. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9780**: Peças de concreto para pavimentação. Determinação da Resistência a compressão- métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação. Especificação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregado para Concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

BITTENCOURT, S. F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição**. 2012. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia) - Universidade Estadual De Campinas Faculdade De Tecnologia, Limeira, 2012.

BRASIL. **Lei n.º 12305/2010, de 2 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Artigo 7º Incisos II e VI.

CABRAL, A. E.B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 2007. 280p. Tese (Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. Tecnologia das Edificações,** Ed. PINI, São Paulo, 1988.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Artigo 2º incisos de I da resolução 307 de 5/07/2002.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento intertravado de concreto: Estudo dos elementos e métodos de dimensionamento.** 2003. 228f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL D INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006. **Manual de pavimentação:** banco de dados. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2013.

FARIAS, C. A. S. de. **Uso de redes neurais artificiais na determinação de dosagens para produção de blocos de concreto com resíduos da construção civil.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

HOOD, R. da S. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

JUNIOR, G. T. A. P. **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, 2007.

LEITE, M.B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

OLIVEIRA, D. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulho da construção civil.** Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

PINTO, T. P. **Utilização de Resíduos de Construção. Estudo do uso em argamassas.** São Carlos: Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 1986. 148p.

PINTO, T. P. **Gestão ambiental dos resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-sp.** São Paulo: SindusCon, 2005.47p.

RAMOS, B. de F. **Indicadores de Qualidade dos Resíduos da Construção Civil do Município De Vitória-Es.** Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

SILVA, P. H. P. **Avaliação do Desempenho de Pavers Fabricados Com Resíduo de Caulim.** Trabalho de Conclusão de Curso. 2013. Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2013.

ZORDAN; S.E. **Entulho da indústria da construção civil.** Fichas técnicas. 2013. São Paulo: PCC-EPUSP. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2013.