



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

JOÃO RICARDO BOAVENTURA DE SOUZA BOMTEMPO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO CONTENDO ADIÇÕES DE
BORRACHA PARA UTILIZAÇÃO EM BLOCOS INTERTRAVADOS DESTINADOS
A CALÇADAS**

Palmas – TO
2015

JOÃO RICARDO BOAVENTURA DE SOUZA BOMTEMPO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO CONTENDO ADIÇÕES DE
BORRACHA PARA UTILIZAÇÃO EM BLOCOS INTERTRAVADOS DESTINADOS
A CALÇADAS**

Monografia apresentada como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Bacharelado em Engenharia Civil, pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Professora Bibiana Zanella Ribeiro

Palmas – TO
2015

JOÃO RICARDO BOAVENTURA DE SOUZA BOMTEMPO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO CONTENDO ADIÇÕES DE
BORRACHA PARA UTILIZAÇÃO EM BLOCOS INTERTRAVADOS DESTINADOS
A CALÇADAS**

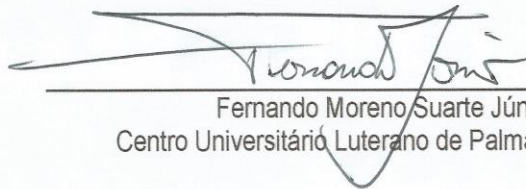
Monografia apresentada como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Aprovado em 11 / 11 2015

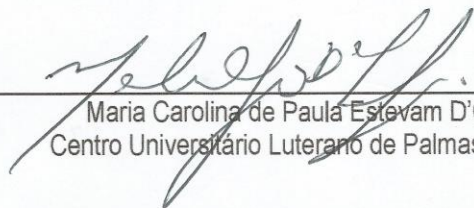
Banca examinadora



Professora Bibiana Zanella Ribeiro
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

RESUMO

BOMTEMPO, João Ricardo Boaventura de Souza. **Avaliação do comportamento do concreto contendo adições de borracha para utilização em blocos intertravados destinados a calçadas**. 70f. Projeto do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2015.

A pavimentação intertravada de concreto vem sendo largamente adotada no país e o emprego desse material deve-se às suas inúmeras vantagens e também a facilidade de seus processos de construção e controle. Uma das grandes vantagens ambientais desse pavimento é a possibilidade de uso de agregados reciclados na composição dos blocos pré-moldados, alternativa promissora, uma vez que um grande volume de resíduos tem sido descartado mundialmente de forma inadequada no meio ambiente. Como a construção civil contribui significativamente com uma imensa quantidade de resíduos sólidos, cabe ao setor pensar em alternativas sustentáveis, utilizar materiais que tenham vida útil longa ou mesmo reutilizar ou reciclar materiais, a fim de compensar os impactos causados e diminuir assim a disposição de resíduos na natureza. Um resíduo que merece destaque é o pneu inservível, já que é um resíduo de difícil destinação, uma vez que seu descarte é expressamente proibido em aterros sanitários comuns, mas, em contrapartida é um material pode ser utilizado como matéria prima na construção civil devido, principalmente, às suas propriedades físicas e mecânicas como: baixa massa unitária, alta resistência, ductilidade e resistência ao impacto. A partir dessas análises prévias, a seguinte pesquisa traçou como objetivo avaliar as características de blocos de concreto desenvolvidos com adição de borracha residual de pneus inservíveis através da análise de resistência à compressão, trabalhabilidade e possibilidade de uso em calçadas. Foi possível observar que os concretos com borracha apresentaram queda de resistência à compressão quando comparados ao concreto produzido tradicionalmente pela empresa, mas que, apesar disso, todos os blocos analisados atingiram resistências maiores que 12 MPa, aos 28 dias, que é o valor exigido pelo SINAPI 73892/002 para calçadas, mostrando que todas as teores de substituição de agregado miúdo por borracha mostraram-se satisfatórios e atenderam perfeitamente a proposta do estudo.

Palavras-chave: Resíduos de borracha; Pneus inservíveis; Concreto produzido com resíduo.

ABSTRACT

BOMTEMPO, João Ricardo Boaventura Souza. **Concrete performance evaluation containing rubber additions for use in interlocking blocks for the sidewalks.** 70f. Completion of Work Project Course of Civil Engineering, University Lutheran Center Palmas. Palmas / TO, 2015.

The interlocking paving concrete has been widely adopted in the country and the use of this material is due to its numerous advantages and also the ease of their construction and control processes. One of the major environmental advantages of this floor is the possibility of using recycled aggregates in the composition of the precast blocks promising alternative since a large amount of waste has been globally discarded improperly in the environment. Such as construction significantly contributes an immense amount of solid waste, it is up to industry to think about sustainable alternatives, use materials that have long life or even reuse or recycle materials in order to offset the impacts caused and thus lowering waste disposal in nature. Waste worth mentioning is the waste tire, since it is a difficult destination residue, since their disposal is strictly prohibited in ordinary landfills, but in return is a material can be used as raw material in due construction, especially, its physical and mechanical properties such as low bulk density, high strength, ductility and impact resistance. From these previous analyzes, the following research traced to evaluate the concrete block features developed with the addition of residual rubber scrap tires through the compressive strength analysis, workability and the possibility of use on sidewalks. It was observed that the concrete with rubber showed compressive strength drop when compared to concrete produced traditionally by the company, but nevertheless all analyzed blocks reached higher strengths than 12 MPa at 28 days, which is the amount required by SINAPI 73892/002 for sidewalks, showing that all the aggregate replacement levels kid by rubber were satisfactory and perfectly met the study proposal.

Keywords: Rubber waste; Unserviceable tires; Concrete produced with waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Principais tipos de assentamento das PPC	16
Figura 02: Formatos típicos das PPC mais usuais	16
Figura 03: Imagens de locais de pouca compressão onde foi utilizado com sucesso o piso intertravado.....	21
Figura 04: Formas usadas em sinalização de calçadas como: piso tátil de alerta, piso tátil direcional, piso de indicação de objeto suspenso	22
Figura 05: Esquema da estrutura de um pneu radial.....	26
Figura 06: Fábrica de pré-moldados onde foram produzidos os blocos	29
Figura 07: Empresa de recauchutagem onde foi coletado o resíduo utilizado para produção dos blocos.	30
Figura 08: Equipamento “raspadeira” usado para degradam a superfície dos pneus usados e resíduos gerados espalhados ao lado do equipamento.....	31
Figura 09: Aspecto do resíduo utilizado para produção dos blocos.	31
Figura 10: Agitador mecânico de peneiras utilizado para caracterizar os agregados.	32
Figura 11: Agregados sendo secos em estufa até massa constante	34
Figura 12: Mistura das proporções determinadas dos agregados utilizados para produzir os blocos	35
Figura 13: Blocos de concreto (corpos-de-prova) sendo enformados	36
Figura 14: Aspecto dos blocos produzidos; padrão, 5% borracha, 10% borracha e 15% borracha, após 7 dias de cura.....	36
Figura 15: Sequência de procedimentos do ensaio de abatimento do tronco de cone.	38
Figura 16: Prensa universal para medição da resistência de concretos.....	38
Figura 17: Aspecto do resíduo de pneus inservíveis utilizado	41
Figura 18: Resistência à compressão apresentadas pelos blocos de concreto produzidos.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Quantidade, em gramas, de material utilizado para moldar os 36 corpos-de-prova	37
Tabela 02: Valores obtidos na avaliação granulométrica do agregado graúdo	39
Tabela 03: Valores obtidos na avaliação granulométrica do agregado miúdo	40
Tabela 04: Valores obtidos na avaliação granulométrica do resíduo de borracha	41
Tabela 05: Apresentação das massas específicas e unitárias dos agregados	42
Tabela 06: Dados obtidos por meio do Slump Test (Abatimento do tronco de cone).	43
Tabela 07: Média das resistências à compressão dos blocos produzidos do modo padrão e com substituições do agregado miúdo por 5%, 10% e 15% de resíduo de borracha em MPa.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral.....	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Características do concreto.....	13
2.2 A pavimentação	14
2.3 A pavimentação intertravada.....	15
2.4 As vantagens e as desvantagens do uso da pavimentação com blocos pré-moldados.....	17
2.5 Calçadas: características e acessibilidade	19
2.6 Uso da pavimentação com blocos pré-moldados em calçadas	20
2.7 Reaproveitamento de resíduos para produção de concreto	22
2.8 Componentes e materiais típicos dos pneus.....	24
2.9 Uso de resíduos de pneus para produção de concreto	27
3. METODOLOGIA	29
3.1 Localização	29
3.2 Coleta do resíduo proposto	30
3.3 Caracterização dos agregados.....	32
3.3.1 Determinação da composição granulométrica dos agregados	32
3.3.1.1 Agregado miúdo natural.....	32
3.3.1.2 Agregado graúdo natural.....	33
3.3.1.3 Agregado borracha de pneus.....	33
3.3.2 Determinação da massa específica	33
3.3.2.1 Determinação da massa específica do agregado miúdo.....	33
3.3.2.2 Determinação da massa específica de agregado graúdo	33
3.3.2.2 Determinação da massa específica de agregado de borracha de pneus	33
3.3.3 Determinação da massa unitária dos agregados.....	34
3.4 Produção dos blocos pré-moldados (corpos-de-prova)	34
3.4.1 Planejamento experimental.....	35

3.4.2 Modelo dos corpos-de-prova	36
3.4.3 Volumes utilizados para confecção dos corpos de prova	37
3.5 Determinação da trabalhabilidade	37
3.5.1 Ensaio de abatimento do troco de cone (Slump test)	37
3.6 Determinação da resistência à compressão	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Determinação granulométrica do agregado graúdo.....	39
4.2 Determinação granulométrica do agregado miúdo	40
4.3 Determinação granulométrica do resíduo de borracha	40
4.4 Determinação de massa específica e unitária.....	41
4.5 Trabalhabilidade	42
4.6 Determinação da resistência à compressão dos blocos de concreto produzidos	43
5. CONCLUSÃO	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	488
APÊNDICES	533
ANEXOS	577

1. INTRODUÇÃO

O uso do piso intertravado de concreto tem sido cada vez mais adotado no Brasil, em calçadas, praças, rodovias, parques, ruas, etc. Já é comum observarmos o seu emprego devido às suas inúmeras vantagens e também a facilidade de seus processos de construção e controle, que estão sendo gradativamente reconhecidos pelos meios técnicos.

O piso do tipo “pavers” tem se destacado por possuir uma série de qualidades como: versatilidade do material, resistência e durabilidade, facilidade de estocagem, qualidades estéticas, permeabilidade, de simples produção, homogeneidade, vantagens ambientais, de custo, entre outras vantagens.

Uma das grandes vantagens ambientais é a possibilidade de uso de agregados reciclados na composição dos blocos pré-moldados, isso é muito promissor, pois no Brasil, como em outros países do mundo, um grande volume de resíduos provenientes da indústria tem sido descartado anualmente de forma inadequada ao meio ambiente (LINTZ et al., 2010).

Como na construção civil a degradação causada pela geração de resíduos sólidos é maximizada a cada dia, afinal, todo e qualquer produto, material e edificação, tem sua vida útil limitada, portanto, para se atingir um desenvolvimento sustentável e minimizar a quantidade de resíduos, cabe ao setor utilizar materiais que tenham vida útil longa ou mesmo reutilizar ou reciclar esse material colocando-o novamente como produto.

Os resíduos de borracha provenientes de pneus descartados no meio ambiente são um exemplo de resíduo que pode ser utilizado em diferentes áreas, principalmente como aditivo para a engenharia civil, e seu bom desempenho é devido, principalmente, às suas propriedades físicas e mecânicas (baixa massa unitária, alta resistência, ductilidade e resistência ao impacto) o uso desses resíduos como matéria-prima em diversos produtos na construção civil tem sido apontado como solução para problemas ambientais e tem sido vastamente estudado nas várias áreas da engenharia.

O uso de pisos intertravados em calçadas possui uma série de características positivas, pois estes possibilitam atingir padrões de qualidade exigidos para esses tipos de locais, como, sinalização para deficientes, cobertura homogênea,

iluminação facilitada, ausência de grandes depressões, o que garante uma maior segurança aos pedestres.

Neste sentido, a seguinte pesquisa teve como objetivo analisar as características de blocos de concreto desenvolvidos com adição de borracha e avaliar resistência, trabalhabilidade e possibilidade de uso, com base na comparação dos valores de FC (Resistência Característica do Concreto à Compressão) alcançados pelos blocos usualmente produzidos na empresa colaboradora e as resistências alcançadas pelo concreto produzido com adição de borracha de pneus inservíveis.

Segundo a ABCP (2010), a resistência característica estimada à compressão deve ser que 35 MPa o que permite a solicitação de veículos comerciais de linha, ou seja, fluxo leve, médio e alto. Já a NBR 9781 (2013), em manual técnico de especificação para concreto destinado à pavimentação, divide os blocos em duas classes de resistência: 35 MPa e 50 Mpa, as peças mais encontradas no mercado são as de 35 MPa, usadas em vias de tráfego leve, médio e pesado e os blocos de 50 MPa são indicados para aplicações especiais em pisos que sofrem também desgaste por atrito, como em pátios de indústrias, portos, etc. No entanto, é fato que áreas como calçadas, parques, praças, onde não há tráfego de veículos, sofrem menor impacto sobre as peças pré-moldadas de concreto, fazendo supor que o concreto de produção desses blocos necessitaria na prática de menor resistência à compressão, deste modo, a seguinte pesquisa levou em consideração o estabelecido pelo SINAPI 73892/002 que descreve a resistência mínima exigida para calçadas de 12 Mpa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar as características de blocos de concreto produzidos com adição de resíduos de pneus, avaliando fatores como resistência, trabalhabilidade e possibilidade de uso para pavimentação intertravada destinada a fabricação de calçadas.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar os agregados utilizados para produção do concreto da empresa colaboradora e o resíduo empregado para substituir parte do agregado miúdo;
2. Produzir amostras de blocos de concreto para piso intertravado (padrão) e amostras substituindo parte do agregado miúdo por resíduos de pneus inutilizados;
3. Verificar a trabalhabilidade dos concretos produzidos;
4. Verificar, por meio do teste de compressão, a resistência dos blocos de concreto produzidos, usando como base o SINAPI 73892/002 que descreve a resistência mínima exigida para calçadas de 12 Mpa, avaliando assim a aplicabilidade do novo concreto, comparando seus valores de compressão obtidos com os do concreto padrão utilizado na empresa colaboradora e também com as normas exigidas para este concreto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características do concreto

O concreto é material que resiste bem aos esforços de compressão e mal aos de tração. Sua resistência à tração é da ordem da décima parte da resistência à compressão e também resiste mal ao cisalhamento, em virtude das tensões de distensão que então se verificam em planos inclinados (PETRUCCI, 1998).

De acordo com Almeida (2002) concreto é resultante da mistura de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água, essa mistura deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas.

Alguns fatores que influem diretamente na performance do concreto como a boa qualidade dos produtos, uma boa proporcionalidade entre seus componentes, cimento, agregados e água, a manipulação adequada após a mistura, o concreto deve ser transportado, lançado nas formas e adensado corretamente e a cura cuidadosa e hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo é o que se denomina cura do concreto (ALMEIDA, 2002).

Segundo Pinheiro et al. (2004) as principais propriedades mecânicas do concreto são a resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas. Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações.

A Resistência à compressão é a característica mecânica mais importante do concreto, essa é denominada F_{ck} , para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio segundo a NBR 5738 (2015) que trata da moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto e em seguida esses corpos são ensaiados segundo a NBR 5739 (2007) que trata do ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. O presente trabalho utilizou-se da resistência a compressão para analisar o concreto produzido na pesquisa.

O concreto vem conquistando importância nos sistemas de transporte terrestre (rodovias), infraestrutura (portos e aeroportos) e mobilidade urbana (corredores de ônibus e ciclovias) graças a algumas vantagens incomparáveis desse pavimento de concreto. A execução de um pavimento de concreto é cercada de todos os cuidados técnicos desde o projeto até o controle tecnológico, trata-se de uma tecnologia segura e reconhecida mundialmente, entre eles, destaca-se o Método da Portland Cement Association (PCA), utilizado na maioria dos países do mundo.

O objetivo é que as obras de pavimentação de concreto sejam duradouras, tenham qualidade, sigam as especificações técnicas e cumpram a viabilidade econômica requerida (ABCP, 2015).

2.2 A pavimentação

De acordo com Santana (1993), pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo.

Já para Pinto e Preussler (1980) pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações.

De uma forma geral, os pavimentos podem ser classificados em rígidos e flexíveis. Os pavimentos rígidos são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento portland, apoiada geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento, assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário, já os pavimentos flexíveis, em geral associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas (SENÇO, 1997).

Dentre esses pavimentos flexíveis podemos destacar o intertravado, tipo de pavimentação que, segundo Fioriti et al. (2010), se desenvolveu a tal ponto que se pode afirmar não existir um nicho da engenharia que não tenha sido permeado por

ele, pátios, calçadas, praças, ruas, caminhos, rodovias, pisos industriais, portos, aeroportos, este está em quase todos os lugares do mundo, em maior ou menor quantidade.

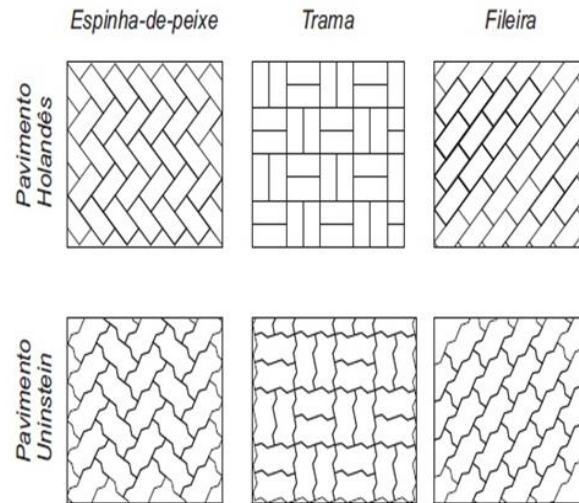
2.3 A pavimentação intertravada

De acordo com a norma brasileira NBR 9781 (2013), o pavimento intertravado é flexível e de estrutura composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída de peças de concreto sobrepostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção.

As peças de concreto são assentadas, manual ou mecanicamente, sobre a camada de areia e compactadas; em seguida espalha-se a areia para o preenchimento das juntas e compactam-se as peças novamente até que as juntas estejam totalmente preenchidas com areia. Dessa forma, o intertravamento das peças, estado desejável para o bom desempenho do pavimento, é obtido (HALLACK, 1998).

O arranjo ou modelos de assentamento dessas peças de concreto Peças Pré-moldadas de Concreto – PPC afetam significativamente a aparência estética e o desempenho dos pavimentos (GODINHO, 2009). Na (Figura 1) estão apresentados os principais tipos de arranjo existentes.

Apesar da reconhecida importância do formato das peças por diversos autores, não existe consenso entre os pesquisadores sobre qual seriam as melhores formas. Segundo Shackel (1979), alguns ensaios demonstraram que as peças pré-moldadas de concreto de lados segmentados se comportam melhor do que aquelas de lados retos ou suavemente curvados, proporcionando menores deformações permanentes na trilha de roda (“rutting”) e deformações horizontais (ondulações) muito menores.

Figura 01: Principais tipos de assentamento das PPC

Fonte: HALLACK (1998)

O mesmo autor, Shackel (1990), em trabalho posterior, aponta que as peças segmentadas proporcionam melhor distribuição dos esforços devido a um melhor intertravamento proporcionado pelo desenho da peça. De outro lado, Hallack (1998), afirma que o formato das PPC não exerce uma significativa influência no desempenho e no mecanismo funcional dos pavimentos, desta forma, o único requisito consensualmente recomendado com relação ao formato das peças é que ele seja capaz de permitir o assentamento em combinação bidirecional. Abaixo (Figura 2) estão representados alguns formatos típicos de PPC.

Figura 02: Formatos típicos das PPC mais usuais

CONHEÇA OS TIPOS COMUNS DE BLOCOS DE PISO



Segmentados ou retangulares

Têm relação comprimento/largura igual a dois (usualmente 200 mm de comprimento por 100 mm de largura). Entrelaçam-se entre si nos quatro lados. São assentados em fileiras ou em espinha de peixe. Podem ser carregados facilmente com apenas uma mão.

Formato I

Tamanhos e proporções similares aos da categoria anterior, mas entrelaçam-se somente em dois lados e só podem ser assentados em fileiras. Podem ser carregados com apenas uma mão.

Formatos geométricos

Peças de concreto com tamanhos maiores do que as duas categorias anteriores. Não podem ser carregadas apenas com uma mão. Têm formatos de trapézio, hexágono, triângulo etc. São assentados sempre no mesmo padrão.

Fonte: HALLACK (1998).

Este piso, também chamado de piso do tipo “pavers” (piso intertravado que possibilita a drenagem evitando a percolação) já é utilizado com sucesso há mais de trinta anos nos Estados Unidos e em países europeus, como Inglaterra e Alemanha, justamente por possuírem uma série de vantagens e trazem enormes benefícios econômicos e sociais para as comunidades envolvidas (MARTINS, 2012).

2.4 As vantagens e as desvantagens do uso da pavimentação com blocos pré-moldados

O uso desse tipo de pavimento tem sido bastante empregado atualmente e esse sucesso, não só no Brasil, mas em todo o mundo, segundo Godinho (2009), pode ser atribuído à maneira única pela qual se combinam os três requisitos fundamentais da pavimentação: estética, capacidade estrutural e integração com o ambiente. Além disso, alguns autores tratam de um ponto primordial que são menores custos. Lyra (2007), por exemplo, trata da economia energética, afirmando que o pavimento intertravado de concreto consome menos energia no processo de fabricação, principalmente se comparado ao pavimento asfáltico e acrescenta que, como as peças são produzidas em máquinas vibro-compressoras, permitem acurado controle, tornando o produto mais consistente e confiável, ou seja, maior durabilidade.

Já Martins (2012), ressalta que o destaque dado à pavimentação intertravada em blocos pré-moldados é devido à sua alta resistência mecânica, sua grande facilidade de execução e manutenção, e ainda a não exigência de mão-de-obra especializada. Além disso, muitos outros autores, afirmam que este tipo de pavimento também se enquadra perfeitamente dentro dos padrões estéticos atuais.

Maciel (2007), em dossiê técnico publicado pelo SENAI, conclui que os pavimentos de blocos são de fácil execução e exigem pouca manutenção, esta pode ser feita pela própria comunidade local e, ainda, sem a necessidade de equipamentos sofisticados. Ressalta também que as rodovias podem ser projetadas para qualquer nível de tráfego, desde muito leve até muito pesado, usando o mesmo tipo de revestimento: blocos, camada de areia para assentamento e areia de rejuntamento.

Maciel (2007), também destaca a uniformidade das dimensões e da qualidade das peças pré-moldadas em concreto, devido ao atendimento de controles rigorosos

em sua fabricação, destaca também a variedade das formas, cores, das texturas das peças e dos padrões de assentamento, o que permite explorar harmonicamente essa característica dos pontos de vista arquitetônico e paisagístico. O autor faz ainda uma descrição resumida do tema, diz que: pisos intertravados de concreto são pré-fabricados, assentados sobre colchão de areia, travados através de contenção lateral e por atrito entre as peças.

Outra vantagem destacada é a maior taxa de infiltração desse tipo de pavimentação, em alguns municípios como Niterói, RJ e Caxias do Sul, RS, aonde têm sido criadas leis que determinam a taxa de impermeabilização nos loteamentos urbanos e impõem o cumprimento das diretrizes através de fiscalização e punições aos responsáveis pela obra, esse tipo de piso é largamente utilizado (LYRA, 2007).

Martins (2012), lembra vantagens de resistência e durabilidade desse tipo de pavimentação, uma vez que, apresenta elevada resistência à compressão, à abrasão e à ação de agentes agressivos, concedendo grande durabilidade ao material. O mesmo autor também discorre sobre a facilidade de execução devido a não exigência de ferramentas especiais e ressalta a possibilidade de utilização imediata sem necessidade de acabamento superficial e liberação imediata para uso, além da facilidade de manutenção, pois existe a possibilidade de remoção parcial ou total do pavimento com reaproveitamento total das peças removidas.

Alguns itens são muito destacados quando o assunto é pavimentação como: segurança, homogeneidade, estocagem, estética e economia, uma vez que, o piso é seguro, devido às superfícies antiderrapantes e possui grande poder de difusão de luz solar ou artificial; contam com uma fabricação em série através de processos mecânicos, o que garante a homogeneidade, podem ser estocados por períodos ilimitados de tempo sem deteriorar, esteticamente são muito apreciados, pois, permitem personalização e ornamentação de obras, além de serem econômicos devido a uma fundação mais simples para tráfego pouco intenso, um dimensionamento menos oneroso para áreas de trânsito intenso e/ou pesado, a facilidade de execução e manutenção, a imediata liberação ao tráfego, e a maior resistência e durabilidade (LYRA, 2007).

Kunzler et al. (2010), lembra a constante deterioração da sinalização feita com pintura nos pavimentos, se não existir manutenção adequada, esta sinalização é perdida devido ao fluxo devido ao fluxo de veículos, e intempéries, deste modo, o

uso de pavers com formatos diferentes, indicando diversas sinalizações pode erradicar esse custo dos cofres públicos

Madrid (1985), atribui certas desvantagens a estes pavimentos como: não possibilidade de uso próximo a canais coletores de águas que possam gerar correntes volumosas e rápidas; não podem ser submetidos à jatos de água sob pressão, sob pena de perda da selagem das juntas; geram maiores níveis de ruído do que outros tipos de pavimento e também provocam maior vibração nos veículos; requerem processo construtivo acurado, ainda que de acordo com parâmetros simples, porém, estritos de tolerâncias de nivelamento, largura de juntas, compactação, escolha de areias etc.; além disso, estruturas de drenagem e contenção lateral mal projetadas e construídas acarretam uma degradação extremamente rápida.

2.5 Calçadas: características e acessibilidade

Calçadas são locais democráticos e de convívio entre as pessoas. Segundo o Código Brasileiro de Trânsito, ela é parte da via que normalmente é segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário, sinalização, vegetação e outros fins (BRASIL, 1997). No entanto, a grande maioria se encontra em situação de precariedade, para se tornarem acessíveis, as calçadas devem atender às normas que regulam sua construção e manutenção, de modo a garantir acessibilidade, permeabilidade do solo, implantação de mobiliário urbano e de equipamentos de forma adequada. Além disso, é necessário observar as características dos pisos e materiais de revestimento, inclinações, desníveis, dimensões e padronização de mobiliários e elementos urbanos (ABCP, 2014).

De acordo com a ABCP (2009) a calçada ideal é aquela que garante o caminhar livre, seguro e confortável de todos os cidadãos, ela é o caminho que nos conduz ao lar, o lugar onde transitam os pedestres na movimentada vida cotidiana e é por meio dela que as pessoas chegam aos diversos pontos do bairro e da cidade. Para o tal autor, a calçada ideal deve oferecer acessibilidade, largura adequada, fluidez, continuidade, segurança, espaço de socialização e desenho da paisagem, ou seja, garantir a completa mobilidade dos usuários, possuir largura adequada atendendo às dimensões mínimas na faixa livre, nela os pedestres devem conseguir

andar a uma velocidade constante, deve ser lisa e antiderrapante, quase horizontal, com declividade transversal para escoamento de águas pluviais, sem obstáculos, deve oferecer espaços de encontro entre as pessoas para a interação social e propiciar climas agradáveis que contribuam para o conforto visual do usuário.

De acordo com a legislação, o proprietário de um imóvel é responsável pela construção do passeio em frente ao seu lote e deverá mantê-lo em perfeito estado de conservação. Vários decretos e leis são destinados ao estabelecimento de normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade e construção de passeios públicos, como o Brasil (2004), no Decreto nº. 5.296/04, Brasil (2000), Lei nº 10.048/00 e Brasil (2000), nº 10.098/00 que estabelece as normas gerais e os critérios básicos para a promoção da acessibilidade mediante a supressão de barreiras e obstáculos nas vias e espaços públicos. O tema de maior destaque quando o assunto é via de pedestres e a acessibilidade.

Para ABCP (2014), para ser mais acessível a calçada deve ser dividida em faixas de diferentes funções e em dimensões que variam em função de sua largura total, essas faixas consistem em: faixa livre; faixa de serviços e faixa de acesso. A faixa livre fica localizada entre as faixas de serviço e de acesso e é destinada à livre circulação de pedestres, nela não são permitidos desníveis, obstáculos ou vegetação, devendo ser completamente desobstruída de qualquer tipo de interferência; a faixa de acesso, conhecida como faixa adicional, localiza-se em frente ao imóvel e pode abrigar vegetação, rampas de acesso, toldos, etc., que não devem comprometer o acesso aos imóveis e o trânsito seguro dos pedestres; e, por ultimo a faixa de serviço, que localiza-se próxima ao meio-fio e é utilizada para a colocação de equipamentos e mobiliário urbano, tais como: lixeiras, caixas de correio, telefones públicos, bancos, postes de iluminação, sinalização de trânsito, árvores e rampas de acesso para veículos ou deficientes físicos. Através do uso de pavimentos intertravados é possível delimitar facilmente essas faixas de acessibilidade e usar formas, cores e superfícies diferentes para garantir o acesso também de pessoas com necessidades especiais.

2.6 Uso da pavimentação com blocos pré-moldados em calçadas

Para FIORITI (2010), é possível notar uma grande vantagem no uso de pisos intertravados em calçadas e passeios públicos, pois, uma série de características

deste possibilitam atingir padrões de qualidade exigidos para esses tipos de locais, como: sinalização para deficientes, cobertura homogênea, iluminação facilitada, ausência de grandes depressões, o que garante uma maior segurança aos pedestres. E, ainda, como esses locais estão sujeitos à pressões menores que as vias para automóveis, esse tipo de pavimento pode ter uma alta durabilidade, com blocos de boa qualidade e bem assentados, a vida deste pavimento pode ser de aproximadamente vinte e cinco anos ou mais. Além disso, o autor destaca características funcionais dos pavimentos intertravados que já são bem conhecidas, como: a simplicidade dos processos de construção e controle, a qualidade estética, a poliutilidade do material, as facilidades de estocagem e homogeneidade, além da possibilidade de uso imediato.

Os pavimentos intertravados de concreto também refletem melhor a luz do que outros tipos de superfície e proporcionam ao usuário e ao meio ambiente excepcional conforto térmico e, mesmo sob chuva, além disso, os pavimentos intertravados de concreto não são escorregadios, características que ressaltam o potencial de uso desse piso para calçar áreas de pedestres (MACIEL, 2007).

Outro motivo de possuírem uma larga utilização em calçadas e passeios públicos para pedestres é que esteticamente são muito apreciados, pois, permitem personalização e ornamentação das obras (LYRA, 2007). A (Figura 3) apresentada abaixo traz um exemplo da bela apresentação visual desse tipo de piso em áreas de pouca compressão, como calçadas, praças e etc.

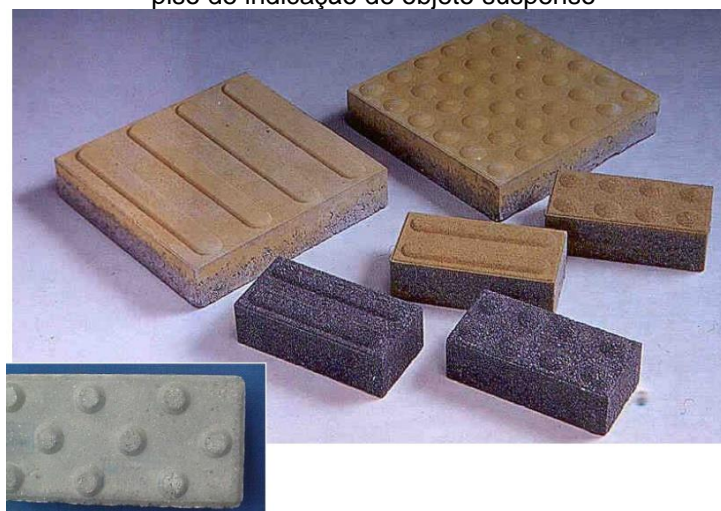
Figura 03: Imagens de locais de pouca compressão onde foi utilizado com sucesso o piso intertravado



Fonte: MEDEIROS et al.(2011).

Medeiros et al. (2011), em manual de acessibilidade elaborado para a cidade de Florianópolis, além da conhecida rampa de acesso, também destaca o piso intertravado como imprescindível mecanismo para sinalizar calçadas, vias exclusivas de pedestres, praças e muitos outros locais de forma inclusiva. A (Figura 4) mostra alguns formatos universais que são produzidos em PPC que possibilitam a mobilidade digna de deficientes visuais.

Figura 04: Formas usadas em sinalização de calçadas como: piso tátil de alerta, piso tátil direcional, piso de indicação de objeto suspenso



Fonte: MEDEIROS et al. (2011).

2.7 Reaproveitamento de resíduos para produção de concreto

Mundialmente um grande volume de resíduos industriais tem sido descartado de forma inadequada ao meio ambiente, um importante fator para o desenvolvimento sustentável de uma sociedade, é o gerenciamento dos resíduos industriais descartados, esses resíduos podem ser reutilizados para diversos fins, no entanto, o que muitas vezes acontece é o abandono desse material, ação que acaba agredindo ao meio ambiente e causando a degradação mais rápida de nossos recursos naturais (LINTZ, 2010).

Sendo assim, possibilitar destinos úteis a materiais que gerariam transtornos em diversos âmbitos, faz-se necessário urgentemente (LYRA, 2007). Todo produto industrializado será um dia descartado, o próprio sistema econômico força esse descarte e isso tem se tornado cada vez mais rápido, portanto, inegavelmente, esse

produto passará ser um resíduo. Desta forma, o único modo de aproximar-se de um desenvolvimento sustentável e minimizar a quantidade de resíduos produzidos, é incentivar os diversos setores a reutilizar materiais inservíveis ou reciclar estes, os colocando novamente como produto no mercado (LINTZ, 2010).

No setor da construção civil a degradação causada pela geração de resíduos sólidos é maximizada a cada dia, afinal, todo e qualquer produto, material e edificação, tem sua vida útil limitada. Sendo assim, para se atingir um desenvolvimento sustentável e minimizar a quantidade de resíduos, cabe ao setor utilizar materiais que tenham vida útil longa ou mesmo reutilizar ou reciclar esse material colocando-o novamente como produto. Para Lyra (2007), essas pesquisas com intuito de incluir diferentes resíduos na produção de materiais para construção civil são de extrema importância, pois a utilização desses insumos reciclados, na mistura que compõe materiais não convencionais, irá contribuir para a correta disposição do lixo gerado pela sociedade, diminuindo assim o impacto causado ao meio ambiente com a extração de matéria-prima de jazidas.

Atualmente, diante dessa necessidade de inovação, respondendo as novas tendências mercadológicas, diversos pesquisadores têm concentrado suas apostas na utilização de resíduos como matéria-prima para construção civil, um dos produtos que vem sendo amplamente estudado é o concreto. Simieli et al. (2007), realizaram ensaios em laboratório para avaliar o comportamento do concreto produzido com inclusão de uma série de agregados reciclados e relataram resultados satisfatórios quanto à resistência mecânica e elasticidade, encontrando resistências sempre superiores aos 35MPa recomendados pela normalização brasileira. Campos e Jacintho (2010) estudaram o comportamento do concreto com adição de fibras de borracha frente às resistências mecânicas e concluíram que apesar da adição do resíduo diminuir suas propriedades mecânicas, não faz com que o concreto perca sua capacidade de absorção de energia. Já Rocha (2008), avaliou a potencialidade de utilização de dois resíduos industriais gerados no corte de rochas e de blocos cerâmicos e concluiu que o uso desses resíduos como adições minerais em concretos é viável, desde que estes não sejam submetidos intensamente a agentes agressivos, para o autor, esse reuso utilizado pode contribuir para a redução do consumo de cimento e agregados, bem como propiciar um destino final a esses resíduos.

Apesar da conhecida queda de resistência a compressão gerada por esse tipo de metodologia (substituição de areia por resíduos) a borracha tem se mostrado como material destaque nesse tipo de substituição, apresentando bons resultados em diversos trabalhos realizados, como é o caso dos autores Nilomar Zavarise e Tiago Arent Longo que ganharam o prêmio Odebrecht para o Desenvolvimento Sustentável em 2015, por seu estudo da utilização de borracha reciclada de pneus em concreto, onde obtiveram até 48 Mpa de resistência a compressão.

O autor Selung (2012) produziu concreto para confecção de blocos vibro prensados, usando borracha de pneu e avaliou custos e viabilidade da produção desses blocos e concluiu que, apesar dos custos dos blocos serem mais elevados, com adição do resíduo de borracha, o uso desse tipo de concreto pode ser justificado, por sua durabilidade superior. Granzotto (2010) utilizou pó de borracha como material de substituição parcial do agregado miúdo em concretos e seus resultados revelaram que é possível se obter uma taxa ótima de adição sem que ocorram perdas significativas para a resistência à compressão e à tração do concreto com adições. Romualdo et al. (2011) desenvolveram um concreto utilizando raspas de pneus para aplicação em calçadas de borracha e concluíram que apesar de perder em resistência, o concreto borracha ganhou em outras propriedades mecânicas importantes.

Segundo Cempre (2006), como no Brasil o esgotamento de áreas para aterros sanitários é um ponto complicador na questão do gerenciamento de resíduos, algumas cidades proibirem a colocação de carcaças inteiras de pneus em aterros o que complica ainda mais a destinação de pneus inservíveis, portanto, retirar borracha para produção de concretos desse tipo de produto, resolveria um problema ambiental e ainda seria uma alternativa de matéria-prima barata e abundante para construção civil.

2.8 Componentes e materiais típicos dos pneus

Charles Goodyear descobriu o processo de vulcanização da borracha e em 1845, R. W. Thomson usou esse processo para produzir o primeiro pneu com tal material. Com o passar do tempo, muitas pesquisas foram sendo realizadas e estas acabaram aprimorando a borracha natural e até resultaram no desenvolvimento de uma borracha sintética, inovação que possibilitou a redução da dependência total

pela matéria-prima borracha natural, isto, e também em virtude também da resistência, durabilidade e conforto para transporte de cargas e pessoas fez com que a fabricação e venda de pneus no mundo fosse crescendo vertiginosamente (RAMOS, 2005).

Como necessitam de uma longa vida útil, são produzidos para durar em situações físicas, químicas e térmicas extremas e apresentam uma estrutura complexa traçada para ser indestrutível, que garante desempenho e segurança a tal produto, essa estrutura possui, além da borracha sintética, vários outros materiais (KAMIMURA, 2002), como: aço, nylon, fibra de aramide, rayon, fibra de vidro/poliéster; borracha natural, além de diversos tipos de polímeros; reforçados químicos como carbono preto, sílica e resinas; antidegradantes (ceras de parafina antioxidantes e inibidoras da ação do gás ozônio); promotores de adesão (sais de cobalto, banhos metálicos nos arames e resinas); agentes de cura (aceleradores de cura, ativadores, enxofre) e produtos auxiliares (PIRELLI BRASIL, 2007).

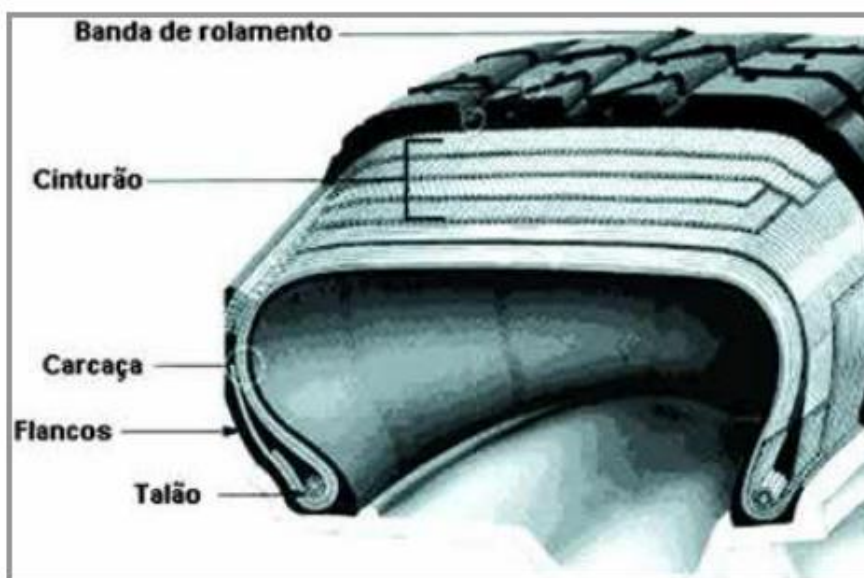
Pneus são divididos em dois grupos de acordo com a carcaça apresentada, podem ser: radiais ou convencionais (diagonais). O tipo mais utilizado em carros e caminhões é o radial, seus reforços estruturais e novos desenhos da banda de rodagem oferecem maior resistência, durabilidade, aderência e estabilidade que o tipo convencional, também chamado de diagonal, por isso, mesmo com um custo superior ao tradicional, os pneus radiais representam 97% da produção mundial de pneus de passeio, e 45% de participação na produção de pneus de caminhões e ônibus (ANDRADE, 2007).

Segundo Lacerda (2001), a quantidade de produtos incorporados na confecção de um pneu acontece em função de sua estrutura, uma vez que este é composto por várias partes: banda de rodagem, cintas de aço, talão, carcaça de lona, parede lateral ou flanco. De acordo com BNDES (1998), a banda de rodagem fica diretamente em contato com o solo, é formada por um composto especial de borracha que oferece grande resistência ao desgaste, essa borracha possui desenhos constituídos por partes cheias (biscoitos) e vazias (sulcos), oferecem desempenho e segurança ao veículo. A carcaça é constituída por lonas de poliéster, nylon ou aço, dispostas no sentido diagonal, uma das outras, nos pneus ditos convencionais e no sentido radial, nos pneus ditos radiais, esta carcaça é a estrutura interna e tem função de reter o ar e suportar o peso do veículo. Os talões são constituídos internamente de arames de aço de grande resistência e têm por

finalidade manter o pneu acoplado ao aro e os flancos correspondem à parte lateral do pneu, são constituídos por borrachas com alto grau de flexibilidade e tem a função de proteger a carcaça. Essas partes destacadas podem ser visualizadas no esquema a seguir (Figura 5).

Todos esses materiais descartados no meio ambiente podem gerar graves transtornos, por isso, aos fabricantes de pneus é atribuída a responsabilidade pelo gerenciamento de resíduos gerados, o qual deve estar de acordo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que proíbe o descarte de pneumáticos inservíveis em aterros sanitários, no mar, em terrenos baldios, margens de vias públicas, cursos d' água e nas praias, proíbe também a queima desses pneus, exceto para a obtenção de energia, efetuada por métodos insuscetíveis de causar danos à saúde humana e ambiental, desta forma, mecanismos de reaproveitamento desses pneus devem ser estudados, para minimizar esses impactos e atender as legislações vigentes quanto ao descarte desse material (GOMES FILHO, 2007).

Figura 05: Esquema da estrutura de um pneu radial.



Fonte: ABIP (2006)

Todos esses materiais descartados no meio ambiente podem gerar graves transtornos, por isso, aos fabricantes de pneus é atribuída a responsabilidade pelo gerenciamento de resíduos gerados, o qual deve estar de acordo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que proíbe o descarte de pneumáticos inservíveis em aterros sanitários, no mar, em terrenos baldios, margens de vias públicas, cursos d'água e nas praias, proíbe também a queima desses pneus, exceto para a obtenção de

energia, efetuada por métodos insuscetíveis de causar danos à saúde humana e ambiental, desta forma, mecanismos de reaproveitamento desses pneus devem ser estudados, para minimizar esses impactos e atender as legislações vigentes quanto ao descarte desse material (GOMES FILHO, 2007).

De acordo com Santos e Borja (2005), o uso de pneus na construção civil é responsável por tornar um elemento altamente poluente do meio ambiente em uma nobre matéria-prima, além de poder proporcionar uma sensível economia no produto final.

2.9 Uso de resíduos de pneus para produção de concreto

Segundo a Portaria do Inmetro Brasil (2000), pneu é o mesmo que pneumático e participa de um sistema de rodagem constituído de elastômero, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado numa roda de veículo e contendo fluído(s) sob pressão, transmite tração dada sua aderência ao solo. O problema relacionado aos pneus é justamente o seu baixo tempo de vida útil, gerando por veículo uma grande quantidade de pneus inservíveis, o que o faz com que estes estejam na lista dos principais inimigos do meio ambiente. Existem várias formas de reutilização e reciclagem de pneus inservíveis, uma delas é relacionada à construção civil, como na produção do asfalto-borracha, que consiste na adição do pó de borracha oriundo da trituração de pneus inservíveis à massa asfáltica, outra forma de reuso é a produção de concretos certas quantidades dessa borracha de pneus inservíveis.

Diversos autores têm tentado introduzir resíduos de pneus inservíveis na produção de concreto, Pinaffi et al. (2013), por exemplo, trabalharam com borracha de pneus descartados e concluíram que é possível utilizar o concreto produzido com incremento de borracha em obras que não necessitem de uma resistência característica maior que 15 MPa e afirmou ainda que esta prática pode ser uma alternativa sustentável, contribuindo para diminuição dos inúmeros descartes diários desse material no meio ambiente. Santos et al. (2011), trabalharam com pneus inservíveis como agregados para composição de concreto para calçadas de borracha e concluíram que o concreto produzido com incremento de borracha oriunda de pneus, apesar das resistências não satisfazerem o uso em questão, apresentou outras vantagens como maior flexibilidade e leveza ao concreto. Martins

(2012), trabalhando também com concreto produzido com introdução de borracha de pneus, afirmou, após diversos testes realizados que todas as propriedades mecânicas e àquelas relacionadas com a durabilidade, as quais foram avaliadas atestaram a viabilidade da produção de concretos de alto desempenho com a adição de resíduos de borracha de pneu e afirmou que este tipo de metodologia poderia ser mais uma possibilidade real de contribuir à preservação do meio ambiente.

3. METODOLOGIA

Esse trabalho teve como finalidade metodológica a Pesquisa Aplicada, quantitativa, descritiva e ação experimental, com o intuito de compreender o comportamento do concreto de cimento Portland com substituição de agregado natural por resíduos de pneus inservíveis. Buscou-se, junto a uma empresa local que produz blocos de concreto para pavimentação intertravada, os materiais necessários para o desenvolvimento desta pesquisa. Os ensaios de caracterização dos materiais utilizados na fábrica foram realizados posteriormente em laboratório, seguindo as especificações das Normas Técnicas Brasileiras (NBRs).

3.1 Localização

A produção do material proposto no trabalho (blocos intertravado) foi realizada em uma empresa de fabricação e assentamento de blocos de concreto intertravados, situada na cidade de Palmas-TO, mostrada na figura 5 e as diversas análises de qualidade desse produto foram realizadas no laboratório de materiais e estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas, entre maio e outubro de 2015.

Figura 06: Fábrica de pré-moldados onde foram produzidos os blocos



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

3.2 Coleta do resíduo proposto

O material utilizado foi obtido em uma empresa recuperadora de pneus localizada na cidade de Palmas, TO mostrada na figura 7.

Figura 07: Empresa de recauchutagem onde foi coletado o resíduo utilizado para produção dos blocos.

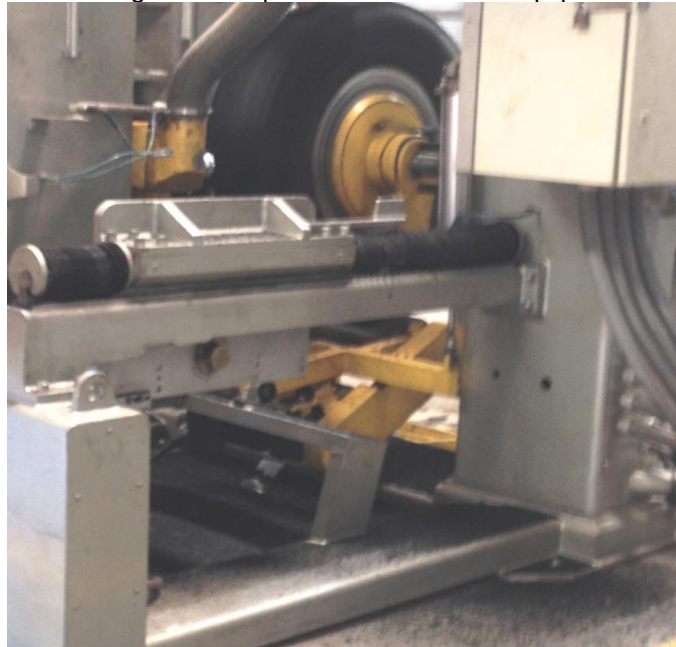


Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

Os resíduos de borracha são oriundos de pneus inutilizados e obtidos através de processo mecânico usando uma “raspadeira” (Figura 8) que consiste em um equipamento que possui vários cilindros contendo fissuras que degradam a superfície dos pneus usados, preparando-os para sobreposição de uma nova bandagem. Esse processo de “lascar” a superfície do pneu leva a formação de fragmentos com diferentes granulometrias, esses fragmentos produzidos pelo equipamento são levados para um triturador que produz um resíduo de pequena granulometria, semelhante a um pó emborrachado (Figura 9), que tem como destino final aterros sanitários, onde são usados como material inerte para forragem ou

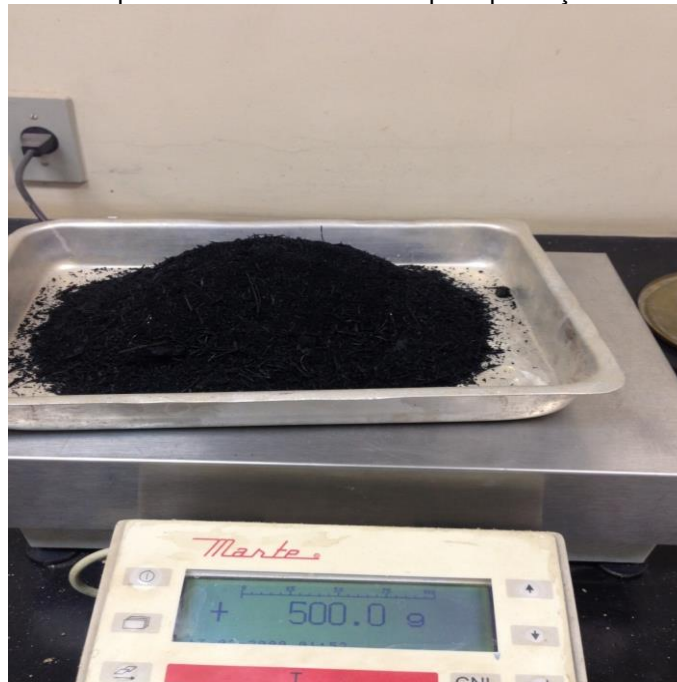
cobertura destes aterros. Esse resíduo final foi coletado e levado para empresa de pré-moldados onde foi realizada a produção dos blocos testados.

Figura 08: Equipamento “raspadeira” usado para degradam a superfície dos pneus usados e resíduos gerados espalhados ao lado do equipamento.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

Figura 09: Aspecto do resíduo utilizado para produção dos blocos.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

O resíduo final coletado e levado para empresa de pré-moldados onde foi realizada a produção dos blocos testados.

3.3 Caracterização dos agregados

Foram utilizados como agregados naturais os usados normalmente para produção blocos de concreto na empresa colaboradora, areia e seixo. Esses foram caracterizados de acordo com os principais ensaios normalizados: determinação da composição granulométrica, determinação da massa específica, determinação massa unitária.

3.3.1 Determinação da composição granulométrica dos agregados

3.3.1.1 Agregado miúdo natural

O material foi seco em estufa, peneirado em agitador mecânico de peneiras (Figura 9) e o agregado retido em cada uma das peneiras foi pesado. A série de peneiras utilizadas foi recomendada pela NBR 7211 (2009) com os diâmetros sucessivos de 9.5, 6.3, 4.8, 2.4, 1.4, 0.6, 0.3, 0.15mm. Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 248 (2003).

Figura 10: Agitador mecânico de peneiras utilizado para caracterizar os agregados.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

3.3.1.2 Agregado graúdo natural

O material foi seco em estufa, peneirado em agitador mecânico de peneiras (Figura 9) e o agregado retido em cada uma das peneiras foi pesado. A série de peneiras utilizadas foi recomendada pela NBR 2395 (1997), com os diâmetros sucessivos de: 50.38, 32.25, 19.5, 12.5, 9.5, 6.3, 4.8, 2.4, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15mm.

3.3.1.3 Agregado borracha de pneus

Os resíduos de borracha foram peneirados em agitador mecânico de peneiras (Figura 9) e o agregado retido em cada uma das peneiras foi pesado. Foi utilizada uma série de peneiras com diâmetros sucessivos de: 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18mm e 600µm, 300µm, 150µm, de acordo com a NBR 248 (2003).

3.3.2 Determinação da massa específica

3.3.2.1 Determinação da massa específica do agregado miúdo

Os procedimentos foram realizados seguindo as determinações dadas pela NBR NM 52 (2009). Foram colocados 200 ml de água no frasco de Chapman e, em seguida, a amostra de areia foi inserida e a leitura do nível no frasco de Chapman foi anotada.

3.3.2.2 Determinação da massa específica de agregado graúdo

Os procedimentos foram realizados seguindo as determinações dadas pela NBR NM 53 (2009). Foram colocados em uma proveta graduada 400 ml ou cm³ de água e, em seguida, foi adicionada a massa de agregado graúdo e realizada a leitura do nível atingido na proveta graduada.

3.3.2.2 Determinação da massa específica de agregado de borracha de pneus

Os procedimentos de ensaio foram seguidos de acordo com o que recomenda a NBR NM 52 (2009). Foram inseridos em proveta graduada 400ml ou cm³ de álcool

e logo foi adicionada a massa de agregado de borracha de pneus, o nível atingido na proveta graduada foi coletado. O álcool foi devido à flutuação do material em água.

3.3.3 Determinação da massa unitária dos agregados

Os agregados foram secos em estufa a 110°C até peso constante (Figura 11) e, em seguida, para determinar a massa, um recipiente foi preenchido com o material. Para evitar a compactação da amostra foi solta de uma altura 15 cm, logo foram pesados recipiente e amostra obtida.

Figura 11: Agregados sendo secos em estufa até massa constante



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2015).

3.4 Produção dos blocos pré-moldados (corpos-de-prova)

O concreto padrão produzido e comercializado pela empresa colaboradora foi considerado como controle do experimento, o bloco de concreto comercializado possui o seguinte traço: 1: 1.87: 1.8 $f_a/c=0,54$, esse traço foi obtido segundo estudos de dosagens de concreto realizados pela própria fábrica de pré-moldados. As características do concreto produzido a partir desse traço são $F_{ck28} = 20$ MPa, conforme laudo fornecido pela empresa (Anexo 1). A partir desse traço referência

foram produzidos: o concreto padrão (grupo controle) e os concretos substituindo parcialmente o agregado miúdo por resíduos de pneus (Figura 12). O teor de substituição estipulado foi baseado em estudos previamente existentes como de Romualdo et al. (2011) e Santos e Borja (2007) que também trabalharam com a substituição de agregado miúdo natural pelo reciclado de borracha, onde foi possível verificar que maiores teores de substituição geravam concretos com resistência muito reduzida, optando assim utilizarmos como substituição o agregado miúdo por resíduos de borracha as proporções de 05%, 10 e 15% do volume.

Figura 12: Mistura das proporções determinadas dos agregados utilizados para produzir os blocos



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2015).

3.4 1 Planejamento experimental

A partir do traço referência, citado anteriormente, foram feitos 4 tratamentos: (1) - concreto padrão (grupo controle), (2) – concreto produzido substituindo 05% o agregado miúdo por resíduos de pneus (3) - concreto produzido substituindo 10% o agregado miúdo por resíduos de pneus e (4) concreto produzido substituindo 15% o agregado miúdo por resíduos de pneus, a variável resposta (dependente) foi a resistência a compressão. As análises foram realizadas em 3 diferentes tempos (7, 14, 28 dias), como o experimento foi realizado em triplicata, foram obtidas 36 parcelas (36 corpos-de-prova).

3.4.2 Modelo dos corpos-de-prova

Os corpos de prova foram produzidos de acordo com o padrão comercializado pela empresa de blocos de concreto com as seguintes dimensões: 10: 20: 8 (largura: comprimento: altura), molde que atende as recomendações dadas pela NBR 9781 (2013).

Nas figuras abaixo (Figura 13 e 14) é possível observar os corpos de prova sendo produzidos, o formato padrão produzido na empresa e o aspectos dos quatro tipos diferentes de corpos-de-prova testados.

Figura 13: Blocos de concreto (corpos-de-prova) sendo enformados



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

Figura 14: Aspecto dos blocos produzidos; padrão, 5% borracha, 10% borracha e 15% borracha, após 7 dias de cura.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

3.4.3 Volumes utilizados para confecção dos corpos de prova

A partir do seguinte traço padrão 1: 1.87: 1.8: fa/c:0,54, (cimento: areia: seixo: fator água/cimento) foram moldados os corpos-de-prova, os resíduos de pneu (borracha moída) foram usados para substituir parte da areia utilizada.

Na Tabela seguinte (Tabela 1) está discriminada as quantidade de material utilizado para moldar de 36 corpos-de-prova retangulares, com as dimensões citadas acima, de acordo com o traço referência.

De acordo com Freitas (2007), os traços dos concretos substituído por resíduo de borracha foram estabelecidos fazendo-se a compensação de volumes de materiais, levando em consideração que a borracha proporcionam menores massas específicas que os agregados naturais.

Tabela 01: Quantidade, em gramas, de material utilizado para moldar os 36 corpos-de-prova

Blocos	Cimento	Areia	Seixo	Borracha	Água
Padrão	10000	18700	18000	0	540
05%	10000	18606,5	18000	93,5	540
10%	10000	18513	18000	187	540
15%	10000	18419,5	18000	280,5	540

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015)

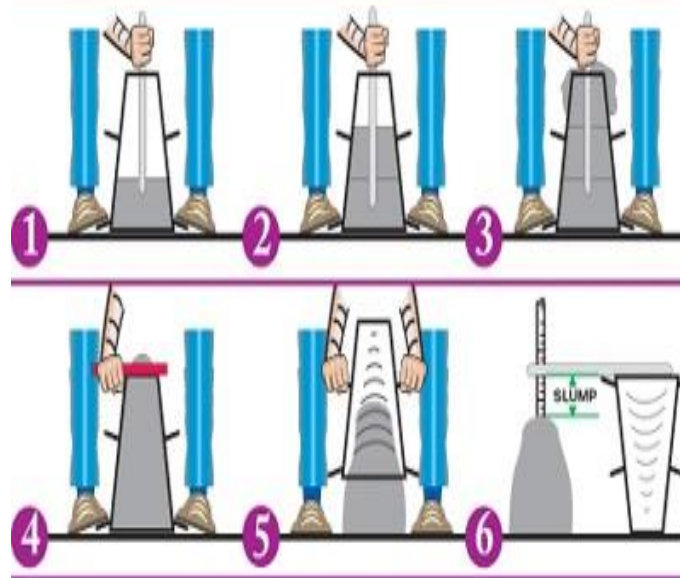
Os blocos foram moldados, após 24h foram desenformados e o processo de cura por aspersão foi realizado de acordo com o modo usual da empresa, onde os blocos de concreto são dispostos ao sol até completarem 28 dias.

3.5 Determinação da trabalhabilidade

3.5.1 Ensaio de abatimento do troco de cone (Slump test)

O ensaio foi realizado de acordo com as especificações da NBR NM 67 (1998) que determina a consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (Figura 15)

Figura 15: Sequência de procedimentos do ensaio de abatimento do tronco de cone.



Fonte: CONCREBON (2010).

3.6 Determinação da resistência à compressão

Os testes de resistência à compressão irão possibilitar uma comparação entre o produto de referência e o alternativo e avaliar efeitos causados pela incorporação dos resíduos nas misturas. O ensaio de determinação da resistência à compressão dos corpos-de-prova foi realizado de acordo com as determinações da NBR 5739 (2007) onde corpos-de-prova são rompidos em uma prensa universal para resistência de concretos, auxiliada por um dispositivo para compressão em bloco de pavimento intertravado, fabricado em aço de 4 cm (Figura 16) após 7, 14 e 28 dias de cura.

Figura 16: Prensa universal para medição da resistência de concretos.



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação granulométrica do agregado graúdo

Composição granulométrica é a distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões, e é usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas maiores ou menores do que cada um das aberturas de uma série de peneiras, ou de porcentagens entre intervalos de aberturas das peneiras (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Segundo os resultados obtidos (Tabela 2) o agregado analisado caracteriza-se como seixo 0, com dimensão máxima característica de 12,5 mm, encontrando-se dentro da zona utilizável da norma NBR 248/ 2003, tanto pela faixa granulométrica como pelo módulo de finura apresentados.

Tabela 02: Valores obtidos na avaliação granulométrica do agregado graúdo

PENEIRAS (mm)	1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		Simples	Acumul.
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.	Simples	Acumul.
50	-	-	-		-	-	-	-
38	-	-	-		-	-	-	-
32	-	-	-		-	-	-	-
25	-	-	-		-	-	-	-
19		-	-		-	-	-	-
12,5	148,7	4,96	4,96	145,9	4,86	4,86	4,91	4,91
9,5	1.992,00	66,4	71,36	1.987,90	66,26	71,13	66,33	71,24
6,3	681,2	22,71	94,06	683,7	22,79	93,92	22,75	93,99
4,8	156,2	5,21	99,27	161,4	5,38	99,3	5,29	99,28
2,4	8,9	0,3	99,57	10,1	0,34	99,63	0,32	99,6
1,2	2	0,07	99,63	2	0,07	99,7	0,07	99,67
0,6	2	0,07	99,7	2	0,07	99,77	0,07	99,73
0,3	1	0,03	99,73	1	0,03	99,8	0,03	99,77
0,15	1	0,03	99,77	1	0,03	99,83	0,03	99,8
FUNDO	7	0,23	99,97	5	0,17	100	0,2	100
TOTAL	3.000,00	100		3.000,00	100		100	
Total da Amostra	3.000,00	100		3.000,00	100		100	
Dif. Da Amostra	-	-		-	-		-	
Módulo de Finura	6,69			6,69			6,69	
Dimensão Máxima Característica	12,5							

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015)

4.2 Determinação granulométrica do agregado miúdo

Analisando a tabela 3, com os valores resultantes do teste de granulometria da areia utilizada, é possível verificar que o agregado miúdo analisado caracteriza-se como areia natural fina, pois os resultados apresentados encontram-se dentro da zona 2 da faixa granulométrica estabelecida pela NBR 248/2003 e esse agregado se enquadra na zona utilizável da norma tanto pela faixa granulométrica como pelo módulo de finura encontrados.

Tabela 03: Valores obtidos na avaliação granulométrica do agregado miúdo

PENEIRAS (mm)	1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		Simple	Acumul.
		Simple	Acumul.		Simple	Acumul.	Simple	Acumul.
9,5		-	-		-	-	-	-
6,3		-	-		-	-	-	-
4,8		-	-		-	-	-	-
2,4	18,7	3,74	3,74	17,5	3,5	3,5	3,62	3,62
1,2	25,6	5,12	8,86	26,8	5,36	8,86	5,24	8,86
0,6	129,5	25,9	34,76	130,6	26,12	34,98	26,01	34,87
0,3	216,9	43,38	78,14	218,8	43,76	78,74	43,57	78,44
0,15	92,5	18,5	96,64	90,6	18,12	96,86	18,31	96,75
FUNDO	16,8	3,36	100	15,7	3,14	100	3,25	100
TOTAL	500	100		500	100		100	
Total da Amostra	500	100		500	100		100	
Dif. Da Amostra	-	-		-	-		-	
Módulo de Finura	2,22			2,23			2,225	
Dimensão Máxima Característica	2,4							

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015)

4.3 Determinação granulométrica do resíduo de borracha

Analisando a (Tabela 4), que apresenta os valores resultantes do teste de granulometria do resíduo utilizado, é possível observar um DMC de 2,4mm e MF 3,235, material que poderia ser classificado como areia media, tal resultado mostra que as granulometrias da areia e borracha são relativamente próximas, satisfazendo assim a condição de substituição parcial da areia quanto ao critério do tamanho de grãos. A figura 16 mostra o aspecto do resíduo de pneus inservíveis utilizado.

Tabela 04: Valores obtidos na avaliação granulométrica do resíduo de borracha

PENEIRAS (mm)	1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		MASSA RETIDA (g)	% RETIDA		Simples	Acumul.
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.		
9,5		-	-		-	-	-	-
6,3		-	-		-	-	-	-
4,8	0	0	0	0	0	0	0	0
2,4	55	11	11	50	10	10	10,5	10,5
1,2	150	30	41	160	32	42	31	41,5
0,6	175	35	76	170	34	76	34,5	76
0,3	95	19	95	100	20	96	19,5	95,5
0,15	25	5	100	20	4	100	4,5	100
FUNDO	0	0	100	0	0	100	0	100
TOTAL	500	100		500	100		100	
Total da Amostra	500	100		500	100		100	
Dif. Da Amostra	-	-		-	-		-	
Módulo de Finura	3,23			3,24			3,235	
Dimensão Máxima Característica	2,4							

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015)

Figura 17: Aspecto do resíduo de pneus inservíveis utilizado

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

4.4 Determinação de massa específica e unitária

As massas específicas e unitárias dos agregados miúdo e graúdo e do resíduo foram determinadas e estão apresentadas na tabela 5. O agregado miúdo analisado apresentou massa unitária média de 1,521 g/cm³ e massa específica

média de 2,640 g/cm³, o agregado graúdo apresentou massa unitária média de 1,611 g/cm³ e massa específica média de 2,704 g/cm³ e o resíduo de borracha teve massa unitária média de 0,344 g/cm³ e massa específica média de 1,218 g/cm³.

Tabela 05: Apresentação das massas específicas e unitárias dos agregados

Massa Unitária g/cm³			
Agregado	Amostra nº 01	Amostra nº 02	Média
Miúdo	1,522	1,520	1,521
Graúdo	1,610	1,612	1,611
Borracha	0,339	0,348	0,344
Massa Especifica g/cm³			
Agregado	Amostra nº 01	Amostra nº 02	Media
Miúdo	2,642	2,638	2,640
Graúdo	2, 702	2,706	2,704
Borracha	1,198	1,237	1,218

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

Analisando a massa unitária e específica encontrada do resíduo de pneus é possível verificar que os valores obtidos são compatíveis aos citados por outros autores como Selung (2012), Bauer et. al. (2001) e Santos (2010).

4.5 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade do concreto foi observada através do ensaio de abatimento do cone (Tabela 6), cujo foi possível constatar que o concreto produzido com substituição do agregado miúdo pelo agregado de borracha de pneus apresentou menor trabalhabilidade que o concreto padrão, conforme destaca Freitas (2007), a perda de trabalhabilidade pode ser explicada pela maior área superficial apresentada pelo agregado de borracha em relação à areia substituída. Este comportamento pode ser explicado pela menor massa específica da borracha, o que implica em colocar um volume maior de material seco, portanto, uma área superficial maior para agregado de borracha em comparação com o agregado mineral, aumentando assim a área a ser molhada. Para manter a trabalhabilidade da mistura seria necessário aumentar a relação a/c. Já Marques et al., (2006) relata que perda

de trabalhabilidade pode ser explicado pelo fato da densidade da borracha ser menor que a da areia. Outro motivo é a dificuldade de adensamento do concreto produzido com substituição parcial do agregado miúdo por borracha, ocasionando assim a produção de vazios internos e diminuição da massa específica do concreto.

Tabela 06: Dados obtidos por meio do Slump Test (Abatimento do tronco de cone).

Traço	Abatimento (mm)
Padrão	80
5% borracha	85
10% borracha	95
15% borracha	100

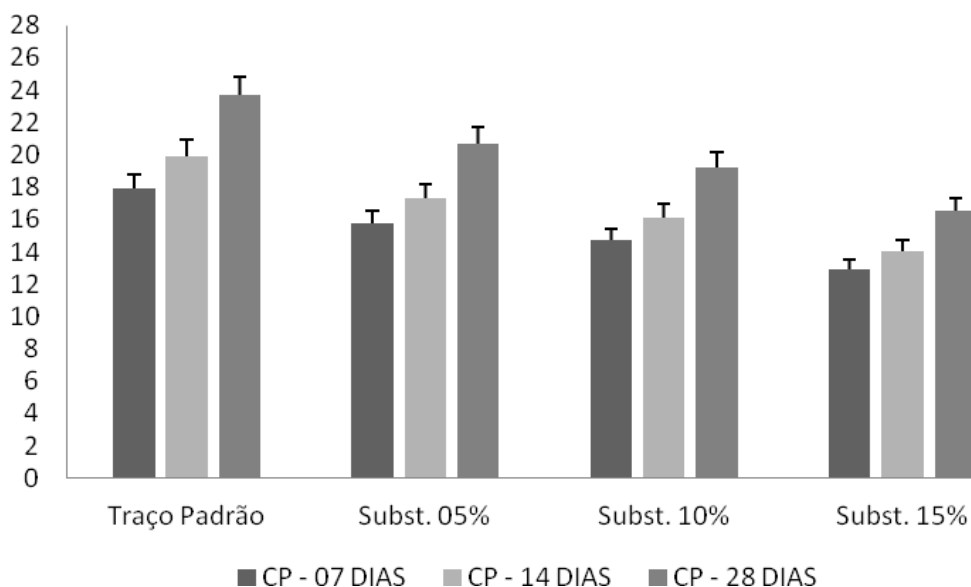
Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015)

4.6 Determinação da resistência à compressão dos blocos de concreto produzidos

Os resultados obtidos (Figura 17) mostraram uma queda de resistência média à compressão nos blocos onde houve a substituição por borracha em relação ao bloco padrão, resultado que já era esperado devido ao observado em diversos outros trabalhos semelhantes como Pinaffi et al (2013), Santos et al. (2011), Campos e Jacintho (2010).

A diminuição da resistência à compressão nos blocos moldados com resíduos de borracha é normal, segundo Filho (2006) quanto maior o teor de borracha e a granulometria, mais expressiva perda de resistência à compressão dos concretos será observada.

Os dados foram tabulados pelo autor, demonstrados nos apêndices desta pesquisa.

Figura 18: Resistência à compressão apresentadas pelos blocos de concreto produzidos

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

Pôde-se observar que a maior queda de resistência à compressão com 7 dias de cura foi na substituição de 15% do agregado miúdo por borracha, com perda média próxima a 28%, já no concreto com substituição por 10% de resíduo houve uma queda aproximada de 17% de resistência, enquanto a menor substituição (5% de resíduos) apresentou queda de compressão de somente 12%. Aos 14 dias as quedas de resistência em relação ao padrão, nos blocos com 15%, 10% e 5% de substituição foram, aproximadamente, 29%, 19%, 13%, respectivamente. Aos 28 dias as quedas de resistência em relação ao padrão, nos blocos com 15%, 10% e 5% de substituição foram, aproximadamente, 30%, 19% e 12%, respectivamente. Foi possível observar que as quedas de resistência mantiveram-se sem grandes alternâncias em relação aos diferentes tempos analisados.

A partir dos resultados da ruptura dos blocos apresentados (Tabela 7) e (Figura 18) é possível observar que os blocos perderam gradualmente sua resistência à compressão a medida que a porcentagem de borracha no concreto aumentou. A substituição mais satisfatória foi a substituição de 5% resistência em torno de 21 MPa em 28 dias de cura.

Essa perda de resistência pode ser explicada devido às diferenças estruturais da borracha, segundo Marques et al. (2012), as perdas na resistência mecânica dos concretos são atribuídas às diferenças de deformações sofridas pela borracha

quando comparadas ao agregado natural e a um maior teor de ar incorporado nas misturas contendo borracha.

Tabela 07: Média das resistências à compressão dos blocos produzidos do modo padrão e com substituições do agregado miúdo por 5%, 10% e 15% de resíduo de borracha em MPa.

Blocos	Rompimento 07 dias (17/03/15)	Rompimento 14 dias (24/03/15)	Rompimento 28 dias (07/04/15)
Traço Padrão	17,92	19,92	23,67
Subst. 05%	15,77	17,33	20,69
Subst. 10%	14,72	16,13	19,17
Subst. 15%	12,87	14,01	16,52

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2015).

A perda de resistência dos concretos elaborados com resíduos de pneu também está relacionada ao fato da borracha não absorver todo o carregamento em relação aos outros componentes e também admitir maior deformação lateral induzindo à ruptura, a uma maior incorporação de ar quando e uma possível redução de aderência na interface resíduo/pasta de cimento (GIACOBBE et al., 2008).

De acordo com Epps (1994), quando agregados de borracha é adicionado à mistura de concreto eles atraem o ar e repelem a água, isso provoca o aumento no índice de vazios no concreto e pode ser um dos responsáveis pela redução na resistência do concreto.

Apesar da queda de resistência apresentada pôde-se notar que todos os blocos analisados atingiram resistências a compressão maiores que 12 MPa, aos 28 dias, (Tabela 7) que é o valor exigido pelo SINAPI 73892/002 para calçadas, mostrando que todas os teores de substituição de agregado miúdo por borracha mostraram-se satisfatórios e atendem perfeitamente a proposta do estudo.

5. CONCLUSÃO

As análises granulométricas mostraram que os resíduos de borracha de pneus tem granulometrias relativamente próximas a da areia, satisfazendo assim a condição de substituição parcial da areia quanto ao critério do tamanho de grãos.

No ensaio do abatimento do concreto (Slump Test), o concreto produzido com substituição do agregado miúdo por borracha de pneus apresentou uma queda da trabalhabilidade em relação ao concreto padrão, devido a grande diferença entre as massas unitárias e específicas dos dois materiais, outro fator é a mal adensamento entre a pasta do concreto com o resíduo da borracha, diminuindo assim a trabalhabilidade e provocando um enfraquecimento na zona de transição do concreto, tornando-o menos resistente também.

As análises de resistência mostraram que o concreto perde gradualmente sua resistência à compressão conforme se aumenta a porcentagem de areia substituída por resíduos de borracha de pneus inservíveis. A queda de resistência à compressão, aos 7 dias de cura, chegou a aproximadamente 28%, 17%, 12% nos concretos com substituição de 15%, 10%, 5% do agregado por borracha respectivamente; Já aos 14 dias as quedas de resistência em relação ao padrão, nos blocos com 15%, 10% e 5% de substituição foram, aproximadamente, 29%, 19%, 13%, respectivamente. Aos 28 dias as quedas de resistência em relação ao padrão, nos blocos com 15%, 10% e 5% de substituição foram, aproximadamente, 30%, 19% e 12%, respectivamente. Foi possível observar que as quedas de resistência mantiveram-se sem grandes alternâncias em relação aos diferentes tempos analisados.

A substituição mais satisfatória no que tange força de resistência foi a substituição de 5% do agregado graúdo por resíduo de pneus, atingindo torno de 21 MPa em 28 dias de cura.

Apesar das quedas de compressão apresentadas pelos blocos testados pôde-se notar que todos os concretos analisados atingiram resistências à compressão maiores que 12 MPa, aos 28 dias. Segundo SINAPI 73892/002 calçadas são definidas como áreas de concreto de 12 MPa, portanto, pôde-se concluir que o concreto produzido com resíduos de pneus inservíveis, além de possuir uma forte

justificativa ambiental de uso, apresentou resistência a compressão acima da desejada e por isso é uma alternativa vantajosa para fabricação de calçadas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em estudos futuros deveriam ser testados outras propriedades como a durabilidade deste resíduo com a matriz de concreto quanto às ações do tempo e do fogo, desempenho quanto ao impacto, tenacidade a compressão e flexão, abrasão e outras propriedades.

Pode-se também avaliar adições de borracha com diferentes dimensões com intuito de diminuir as quedas de resistência apresentadas.

Uma outra linha interessante de pesquisa futura seria o estudo da viabilidade financeira da implantação desse tipo de concreto, levando em consideração a características locais de oferta e logística desse resíduo utilizado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia prático para a construção de calçadas**. São Paulo, 2009.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimento verde cada vez mais presente**. 2010. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/tecnologia/pavimento-de-concreto/> Acesso em: 03 de outubro de 2015.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Projeto técnico: Calçadas acessíveis**. Programa Soluções para Cidades. 2014.

ABIP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PNEUS REMOLDADOS. **Notícias da ABIP**. 2006. Disponível em: http://www.abip.com.br/site/noticias/not_noticias> Acesso em 05 de julho de 2015.

ALMEIDA, Luiz Carlos de. **Concreto: Concreto armado**. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, 2002. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf> Acesso em: 05 de outubro 2015.

ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização**. 2007, 101 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 2395: Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento** – Vocabulário. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, R. J. F; TOKUDOME, S.; GADRET, A.D. Estudo de concreto com pneu moído. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Paraná, 2001.

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Pneus:** áreas de operações industriais 2; gerência Setorial 2. Brasília, jun., 1998.

BRASIL. **Decreto Lei 5.296 de 2004:** Normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências, 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm. Acessado em: 13 de outubro 2015

BRASIL. Lei nº. 9.503 de setembro de 1997. **Código de Trânsito Brasileiro.** 1997.

BRASIL. **Lei 10.048 de 2000.** Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e dá outras providências, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L10048.htm Acessado em: 13 de outubro 2015

BRASIL. Portaria nº 5, de 14 de Janeiro de 2000, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, INMETRO. **Regulamentação técnica com vistas à certificação compulsória de todos os tipos de pneus comercializados no País.** Brasília, DF, 2000.

BRASIL. **Lei 10.048 de 2000.** Dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L10048.htm Acessado em: 13 de outubro 2015

CEMPRE. **Pneus:** o mercado para reciclagem. 2006. Disponível em <http://www.cempre.org.br/fichastécnicas/pneu> Acesso em 15 de setembro de 2015.

CAMPOS, W. C.; JACINTHO, A. E. P. G. A. Concreto com adição de fibras de borracha - um estudo frente às resistências mecânicas. In: XV Encontro de Iniciação Científica da PUC, Campinas. **Anais...** São Paulo, 2010.

CONCREBON. Blog da Concrebon – Notícias do mundo do concreto. **Teste de Slump.** 2010. Disponível em: <http://www.concrebon.com.br/blog/?p=10>. Acesso em: 04 de agosto de 2015.

EPPS, J. A. **Uses of Recycled Rubber Tires in Highways.** Synthesis of Highway Practice 198, TRB, National Research Council, Washington, 1994.

FILHO, L. A. P. M. **Influência da Adição de Resíduos de Pneu nas Propriedades Físicas do Concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. **Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus**. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2010.

FREITAS, Camila. **Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas**. UFPR, Paraná, 2007.

GIACOBBE, S.; FIGUEIREDO, A. D. **Concreto de cimento Portland com borracha de pneus**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2008.

GODINHO, Dalter Pacheco. **Pavimento intertravado: Uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GOMES FILHO, Carlos Vicente. **Levantamento do potencial de resíduos de borracha no Brasil e avaliação de sua utilização na indústria da construção civil**. (Dissertação) 2007, 137p, Mestrado em Tecnologia do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Instituto de Engenharia do Paraná, Paraná, SC, 2007.

GRANZOTTO, Laura. **Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável**. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Civil, 2010.

HALLACK, Abdo. **Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, São Paulo, 1998.

KAMIMURA, Eliane. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2002. 128 f. Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

KUNZLER, G. D.; ARAÚJO, M. J. S.; MARTINS JR, J. **Implantação de piso intertravado refletivo: projeto de utilização em faixas de pedestre na cidade de Maringá-PR visando à melhoria da sinalização noturna**. V Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica CESUMAR – Centro Universitário de Maringá, PR, 2010.

LINTZ, C. **Avaliação das propriedades mecânicas do concreto com adição de borracha de pneus para fabricação de pisos intertravados**. Engenharia Civil - UM, n. 37, p. 17-26, 2010.

LYRA, L. **Blocos Intertravados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - 118 f., João Pessoa, 2007.

MACIEL, Anderson Brum. **Pavimentos Intertravados**. SENAI/RS, 2007 Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjcz>>. Acesso em: 14/08/2015.

MADRID, G.G. **Ventajas y aplicaciones de los pavimentos de adoquines de concreto**. Medellin, Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 1985.

MARQUES, A. C.; RICCI, E. C.; TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L. Resistência mecânica do concreto adicionado de borracha de pneu submetido à elevada temperatura. Anais da XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Campinas, SP, 2006.

MARQUES, Ana Carolina, AKASAKI, Jorge Luís, FIORITI, Cesar Fabiano. **Análise da resistência mecânica à compressão de concretos incorporados com resíduos de pneus submetidos à elevada temperatura**. Revistas da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP - V. 6, N° 1, p. 82 - 97, 2012.

MARTINS, Antonio Castilho. **Indústria de Pavimento Ecológico**. SEBRAE, 2012. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/Como-montar-uma-ind%C3%BAstria-de-pavimento-ecol%C3%B3gico>> Acesso em: 20/08/2015.

MEDEIROS, L. R.; FREDIANI, B. T.; GIUSTINA, A. D. **Manual de acessibilidade**. Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, SC. 2011. Disponível em: http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/26_12_2011_17.31.26.f930687d1baa0226e641b934b6fa8d6c.pdf Acesso em: 20 de agosto de 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13 edição, Editora Globo, São Paulo, 1998.

PINAFFI, C. D.; SILVA, N. C.; SOLINA, M. R. F.; FIGUEIREDO, F. B.; BIZARRO, L. M. C. E.; CAMPOS, C. F. S. Estudo e análise da fabricação de concreto a partir do uso de resíduos de borracha de pneus. **Colloquium Exactarum**, vol. 5, n. Especial, p. 99-106, 2013.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. Estruturas de concreto. Universidade de São Paulo -USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2004.

PINTO, S., PREUSSLER, E. S. **Módulos Resilientes de Concretos Asfálticos**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens – Instituto Pesquisas Rodoviárias DNER - IPR, Rio de Janeiro, 1980.

RAMOS. Leonardo Sohn Nogueira. **A logística Reversa de Pneus Inservíveis: O problema da Localização dos Pontos de Coleta**. Dissertação de Mestrado. 2005,

99 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, SC, 2005.

ROCHA, Camila Aparecida Abelha. **Estudo de concretos com adições minerais de resíduo de corte de rocha e de blocos cerâmicos moídos.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2008.

ROMUALDO, A. C. A, SANTOS D. E. dos, CASTRO, L. M. de, MENEZES, W. P. de, PASQUALETTO, A., SANTOS, O. R. dos. **Pneus inservíveis como agregados na composição de concreto para calçadas de borracha.** Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world, São Paulo, 2011.

SANTANA, Humberto. **Manual de pré-misturados a frio.** Rio de Janeiro: IBP, Comissão de Asfalto, 1993.

SANTOS, Antonico C. dos. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com a aplicação em placas pré moldadas.** 116p, 2010. Dissertação. (Pós-graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal do Alagoas, Maceió, 2010.

SELUNG, Catiane Sebben. **Estudo do uso de borracha de pneu em concreto para confecção de blocos vibro prensados.** 85p, 2012. Monografia - Curso de Engenharia Civil da Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Santa Catarina, 2012.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** 1ª ed. São Paulo: PINI, 1997.

SHACKEL, B. **A pilot study of the performance of block paving under traffic using a heavy vehicle simulator.** In: symposium on precast concrete paving block, Johannesburg. Proceedings Concrete Society of Southern Africa Concrete Masonry Association, s.d. 1979.

SHACKEL, B. **Design and construction of interlocking concrete block pavements.** London, Elsevier, 1990.

SIMIELI, D.; MIZUMOTO, C.; SEGANTINI, A. A. S.; SALLES, F. M. **Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados.** Exacta, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 231-241, jul. /dez. 2007.

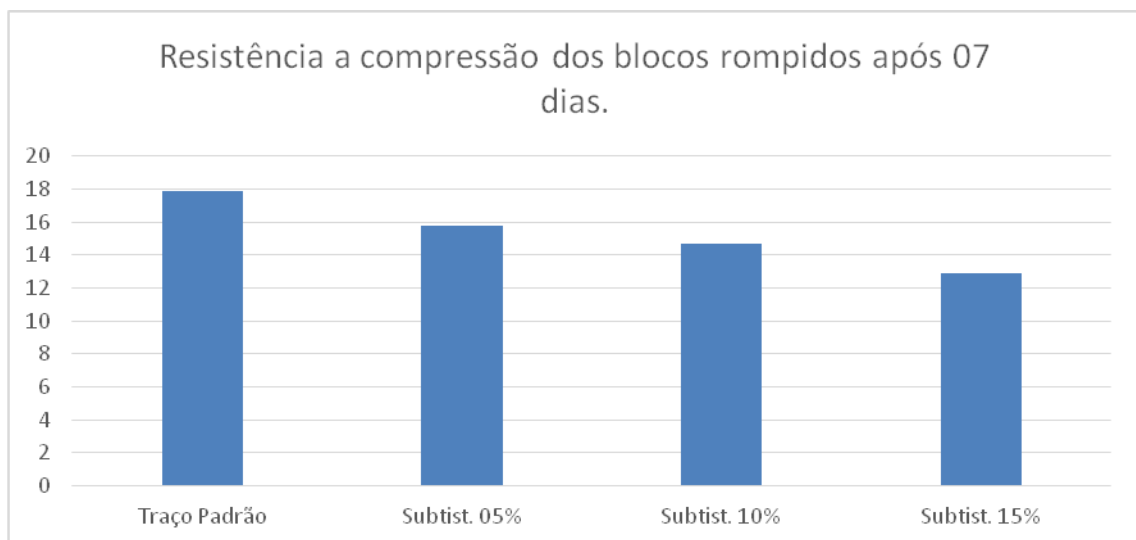
SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.** Descrição de serviço, Código 73892/002, Julho 2003.

SOUZA, Murilo de Lopes. **Pavimentação Rodoviária.** Livros Técnicos e Científicos, Ed. As, Rio de Janeiro, 1980.

APÊNDICES

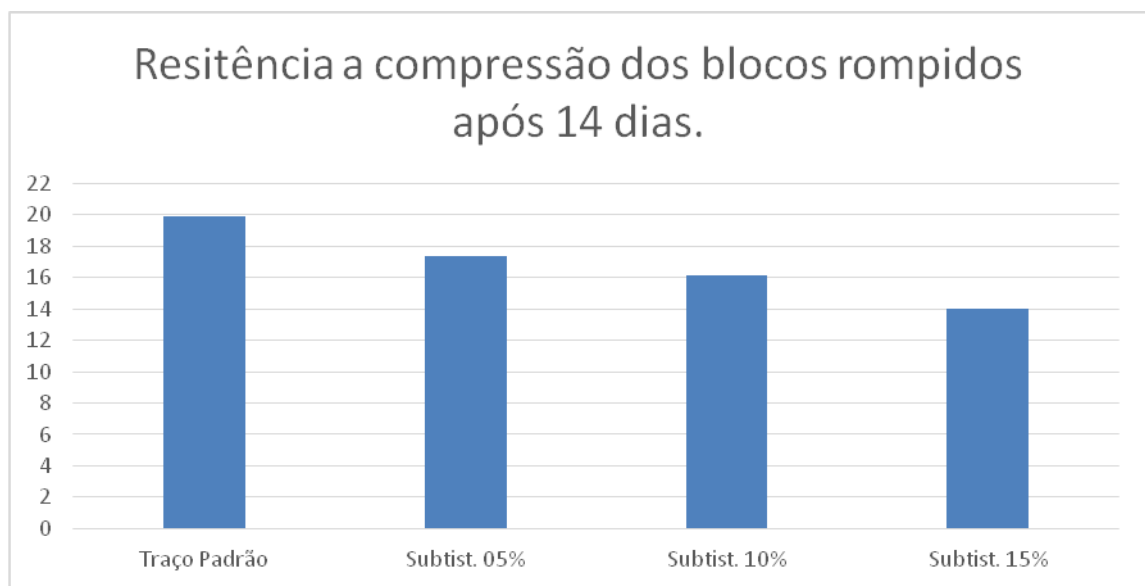
TABULAÇÃO DE DADOS – 07 DIAS

	CP - 07 DIAS	CP - 07 DIAS	CP - 07 DIAS	Média 07 dias
Traço Padrão	17,98	17,93	17,85	17,92
Subtist. 05%	15,72	15,67	15,92	15,77
Subtist. 10%	14,64	14,78	14,74	14,72
Subtist. 15%	13,03	12,87	12,71	12,87



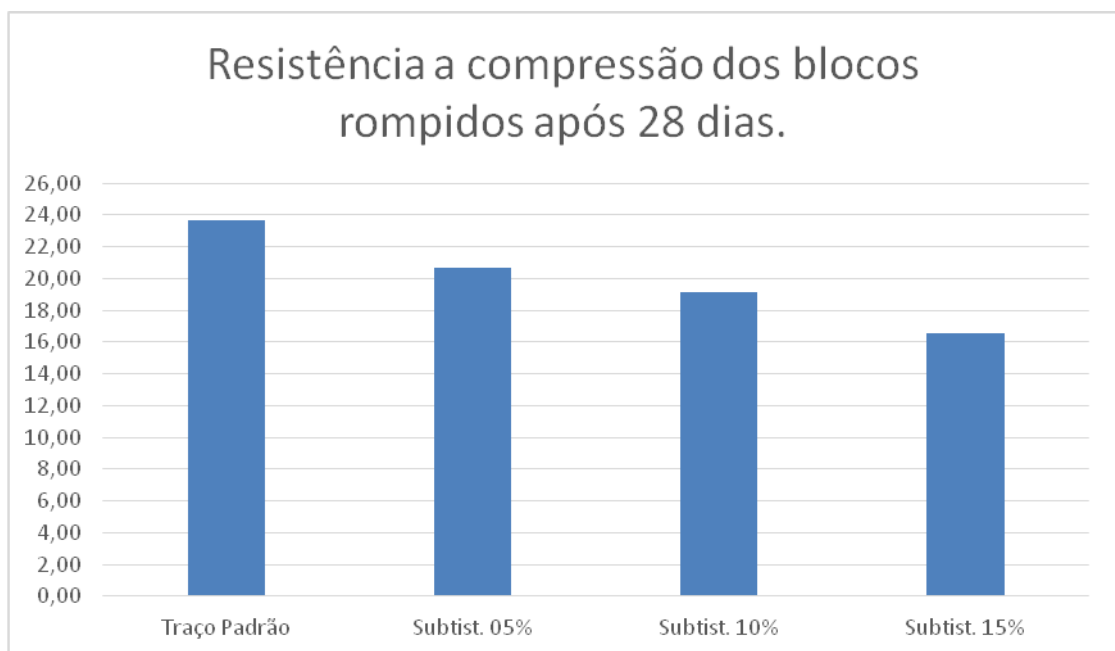
TABULAÇÃO DE DADOS – 14 DIAS

	CP - 14 DIAS	CP - 14 DIAS	CP - 14 DIAS	Média 14 dias
Traço Padrão	20,08	19,83	19,85	19,92
Subtist. 05%	17,31	17,48	17,20	17,33
Subtist. 10%	16,02	16,34	16,03	16,13
Subtist. 15%	14,12	13,98	13,93	14,01



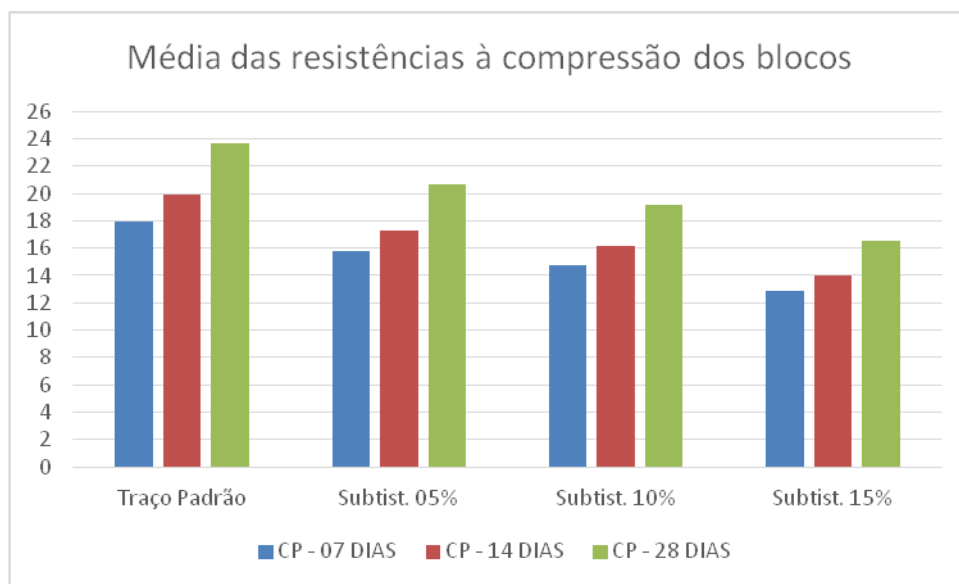
TABULAÇÃO DE DADOS – 28 DIAS

	CP - 28 DIAS	CP - 28 DIAS	CP - 28 DIAS	Média 28 dias
Traço Padrão	22,3	24,9	23,8	23,67
Subtist. 05%	19,97	21,43	20,67	20,69
Subtist. 10%	19,42	19,08	19,01	19,17
Subtist. 15%	16,32	16,58	16,66	16,52



TABULAÇÃO DE DADOS – MÉDIAS

	CP - 07 DIAS	CP - 14 DIAS	CP - 28 DIAS
Traço Padrão	17,92	19,92	23,67
Subtist. 05%	15,77	17,33	20,69
Subtist. 10%	14,72	16,13	19,17
Subtist. 15%	12,87	14,01	16,52



ANEXOS

Anexo 1

Estudo de dosagem encomendado pela empresa colaboradora e utilizado para produzir os blocos usados como padrão.

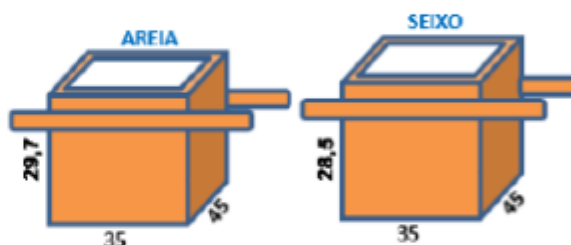
Traço					
Teor de argamassa		54%			
Agregado graúdo	Seixo	Massa unitária	→	1,650	
		Massa unitária	→	1,522	
Agregado miúdo	Areia Natural	Inchamento médio	→	1,15	
		Umidade Crítica	→	4,3	
Cimento	CP II - Z - 32	CIPLAN			
CARACTERISTICA DO CONCRETO					
fck	20 MPa para estimativa de desvio padrão d		5,5	MPa	fc28 = 29,1
	Com abatimento de 100 ± 20.				
DOSAGEM EXPERIMENTAL:					
Teor de argamassa	54		%		
Consumo de cimento	338		kg/cm³		
Fator água / cimento	0,54		Sem ar incorporado		
DETERMINAÇÃO DO TRAÇO EM MASSA COM OS AGREGADOS SECOS					
Traço	1	"	Areia 2,48	"	Seixo 2,96
					a/c 0,54
DETERMINAÇÃO DO TRAÇO EM VOLUME PARA AREIA CONSIDERANDO O INCHAMENTO MÉDIO					
Traço	1	"	Areia 1,87	"	Seixo 1,8
					a/c 0,54

**DOSAGEM UM VOLUME PARA 1 SACO DE CIMENTO (50 KG)
CONSIDERANDO O INCHAMENTO MÉDIO**

Areia Natural	93,6
Seixo	89,8
Água	27,0

PADIOLAS P/ 01 SACO DE CIMENTO E AREIA CONSIDERANDO O INCHAMENTO.

Areia Natural	2	x	35x45x 29,7	massa	39,3
Seixo	2	x	35x45x 28,5	massa	47,0
Água	27,0	Litros			
Aditivo	0,15	Litros			



PADIOLAS P/ 01 SACO DE CIMENTO E AREIA CONSIDERANDO A AREIA SECA.

Areia Natural	2	x	35x45x 25,8	massa	39,3
---------------	---	---	--------------------	-------	-------------

**TRAÇO PARA 1 M³ DE CONCRETO
Com a areia considerando o inchamento**

			Massa Esp.		
Cimento	338 kg		3,10	ou	109,0
Areia Natural	837 kg		2,652	ou	315,8 m³
Seixo	1001 kg		2,640	ou	379,3 m³
Água	183 Litros		1,00		182,5
Ar Aprisionado					15,0
			Total		1002

Caso a areia esteja totalmente seca

Areia Natural	837 kg	ou	0,316 L
Água	183 L		

Anexo 2

CEULP/ULBRA Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000**
Célula: **Trd 30**
Extensômetro: **Trd 10**
Data: **17/03/2015**
Hora: **16:23:52**
Trabalho nº **0390**
Programa: **Tese versão 1.10**
Método de Ensaio: **Bloco extensômetro 180tf**
Ident. Amostra: **>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>**
Cliente: **Joao Ricardo Boaventura**
Data moldagem: **10/03/2015**
Idade Amostra: **07 Dias**

Corpo de Prova	Largura Média (mm)	Comprimento Médio (mm)	Altura Média (mm)	Força Ruptura (kgf)	Tensão Ruptura (Mpa)
CP 1	100.0	200.0	80.0	27390	15,72
CP 2	100.0	200.0	80.0	27303	15,67
CP 3	100.0	200.0	80.0	27739	15,92
Número CPs	3	3	3	3	3
Média	100.0	200.0	80.0	27477	15,77
Desv.Padrão	0.0000	0.0000	0.0000	230	0,13
Coef.Var(%)	0.0000	0.0000	0.0000	0,84	0,84
Mínimo	100.0	200.0	80.00	27303	15,67
Máximo	100.0	200.0	80.00	27739	15,92

Anexo 5

CEULP/ULBRA Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000**

Célula: **Trd 30**

Extensômetro: **Trd 10**

Data: **17/03/2015**

Hora: **15:32:43**

Trabalho n° **0390**

Programa: **Tese versão 1.10**

Método de Ensaio: **Bloco extensômetro 180tf**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>

Cliente: **Joao Ricardo Boaventura**

Data moldagem: **10/03/2015**

Idade Amostra: **07 Dias**

Corpo de Prova	Largura Média (mm)	Comprimento Médio (mm)	Altura Média (mm)	Força Ruptura (kgf)	Tensão Ruptura (Mpa)
CP 1	100.0	200.0	80.0	31328	17.98
CP 2	100.0	200.0	80.0	31241	17.93
CP 3	100.0	200.0	80.0	31101	17.85
Número CPs	3	3	3	3	3
Média	100.0	200.0	80.0	31223	17.92
Desv. Padrão	0.0000	0.0000	0.0000	114	0.07
Coef. Var(%)	0.0000	0.0000	0.0000	0,37	0,37
Mínimo	100.0	200.0	80.00	31101	17,85
Máximo	100.0	200.0	80.00	31328	17,98

Anexo 6

CEULP/ULBRA

Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000**

Célula: **Trd 30**

Extensômetro: **Trd 10**

Data: **24/03/2015**

Hora: **14:33:52**

Trabalho n° **0390**

Programa: **Tese versão 1.10**

Método de Ensaio: **Bloco extensômetro 180tf**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>

Cliente: **Joao Ricardo Boaventura**

Data moldagem: **10/03/2015**

Idade Amostra: **14 Dias**

Corpo de Prova	Largura Média (mm)	Comprimento Médio (mm)	Altura Média (mm)	Força Ruptura (kgf)	Tensão Ruptura (Mpa)
CP 1	100.0	200.0	80.0	30161	17,31
CP 2	100.0	200.0	80.0	30457	17,48
CP 3	100.0	200.0	80.0	29969	17,20
Número CPs	3	3	3	3	3
Média	100.0	200.0	80.0	30195	17,33
Desv.Padrão	0.0000	0.0000	0.0000	246	0,14
Coef.Var(%)	0.0000	0.0000	0.0000	0,81	0,81
Mínimo	100.0	200.0	80.00	29969	17,20
Máximo	100.0	200.0	80.00	30457	17,48

Anexo 13

CEULP/ULBRA Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000**
Célula: **Trd 30**
Extensômetro: **Trd 10**
Data: **07/04/2015**
Hora: **15:38:28**
Trabalho nº **0390**
Programa: **Tese versão 1.10**
Método de Ensaio: **Bloco extensômetro 180tf**
Ident. Amostra: **>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>**
Cliente: **Joao Ricardo Boaventura**
Data moldagem: **10/03/2015**
Idade Amostra: **28 Dias**

Corpo de Prova	Largura Média (mm)	Comprimento Médio (mm)	Altura Média (mm)	Força Ruptura (kgf)	Tensão Ruptura (Mpa)
CP 1	100.0	200.0	80.0	38855	22,3
CP 2	100.0	200.0	80.0	43385	24,9
CP 3	100.0	200.0	80.0	41469	23,8
Número CPs	3	3	3	3	3
Média	100.0	200.0	80.0	41242	23,67
Desv.Padrão	0.0000	0.0000	0.0000	2274	1,31
Coef.Var(%)	0.0000	0.0000	0.0000	5,51	5,51
Mínimo	100.0	200.0	80.00	38855	22,3
Máximo	100.0	200.0	80.00	43385	24,9