

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
LUKAS EDUARDO SANTOS MÜLLER

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL COM ADIÇÃO
DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS**

CASCABEL - PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
LUKAS EDUARDO SANTOS MÜLLER

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL COM ADIÇÃO
DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professora Orientadora: Mestre Engenheira Civil
Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres.**

CASCADEL - PR

2017

RESUMO

O problema dos descartes dos pneus inservíveis nos grandes centros é considerado um grande problema ambiental devido o tempo elevado para sua decomposição e principalmente pelo seu descarte inadequado. Outro problema é o grande avanço urbano e o aumento de superfícies impermeáveis, que geram o maior escoamento superficial, agravando os problemas de enchentes. Esta pesquisa buscou reutilizar o resíduo da borracha do pneu em substituição de parte do agregado gráúdo em concreto permeável realizando ensaios laboratoriais para caracterização do mesmo no que se refere à determinação de resistência à compressão, módulo de elasticidade e permeabilidade. Foram realizados ensaios utilizando concreto permeável convencional e concreto permeável com substituição de 50% do agregado natural por resíduo de borracha de pneu. Os resultados encontrados não foram satisfatórios em relação aos ensaios de resistência à compressão, pois a borracha é pouco resistente e quando o agregado é substituído por metade deste, suas características pouco resistentes são herdadas. Para o ensaio de permeabilidade, os valores obtidos são satisfatórios, apresentado boa drenagem de água.

Palavras-chave: Concreto sustentável. Fibras de borracha. Concreto poroso. Reciclagem.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e amigos, que apoiaram e acreditaram em mim.

A presença de vocês foi essencial para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de primeiramente agradecer aos meus pais, Clair e Ilson, por batalharem para me dar a oportunidade de ter uma educação, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Todas as demonstrações de gratidão serão mera retribuição do inesgotável carinho com o qual sempre me cercaram.

Agradeço a toda a minha família, principalmente meus avós, minhas irmãs e meus sobrinhos, que nos momentos de minha ausência dedicada ao estudo superior, sempre entenderam que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Aos meus amigos, Allisson, Camila, Débora, Denise, Desirè, Douglas, Felipe, Fernanda, Giovanni, Heloisa, Jullie, Luiz, Marcos, Natália, Reinhold e Stella, por estarem comigo nos momentos tristes e alegres, compartilhando lágrimas e risadas. Com vocês meus dias se tornaram mais suportáveis e as lembranças que criamos juntos são inesquecíveis.

A minha professora orientadora, Mestre Engenheira Civil Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres, que me guiou e auxiliou nos momentos de dúvida, pela paciência, cobrança e por aceitar me orientar no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos funcionários dos laboratórios de Ensaios Mecânicos e Construção Civil no Centro Universitário Assis Gurgacz, que me auxiliaram na realização dos ensaios, pela paciência e momentos agradáveis que passamos nos últimos meses.

EPÍGRAFE

“The real violence, the violence I realized was unforgivable, is the violence that we do to ourselves, when we are too afraid to be who we really are.”

Nomi Marks – Sense8.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concreto Permeável.	17
Figura 2: Três curvas granulométricas comumente utilizadas em concreto permeável.	19
Figura 3: Estrutura básica de um pneu.	21
Figura 4: Queima de pneus inservíveis em depósito clandestino de Porto Velho - Rondônia.	23
Figura 5: Resíduos de borracha.	24
Figura 6: Resíduos de borracha de pneus inservíveis triturado.	29
Figura 7: Moldagem do corpo de prova.	30
Figura 8: Corpo de prova sem adição de borracha dentro dos moldes.	31
Figura 9: Corpos de prova convencional desmoldados e etiquetados.	31
Figura 10: Corpos de prova com adição de borracha desmoldado e etiquetado.	32
Figura 11: Rompimento do corpo de prova convencional.	33
Figura 12: Aplicação de carga no corpo de prova com equipamento.	34
Figura 13: Corpo de prova serrado para realização de ensaio de permeabilidade.	36
Figura 14: Vista superior dos corpos de prova - Na esquerda com substituição de borracha e na direita convencional.	36
Figura 15: Aparelho para realização do ensaio de permeabilidade sem o reservatório.	37
Figura 16: Média do ensaio de Resistência à compressão.	40
Figura 17: Corpo de prova convencional rompido.	40
Figura 18: Corpo de prova com adição de borracha rompida.	41
Figura 19: Resultados da tentativa do ensaio de módulo de elasticidade no corpo de prova com adição de borracha.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Municípios com serviço de drenagem urbana.	16
Tabela 2: Consumo e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável.	26
Tabela 3: Composições utilizadas.	27
Tabela 4: Granulometria brita 0.....	28
Tabela 5: Ensaio de caracterização.....	28
Tabela 6: Ensaio realizado e quantidade de corpos de prova.	30
Tabela 7: Resistência à compressão – Concreto permeável convencional.....	39
Tabela 8: Resistência à compressão – Concreto permeável com adição de borracha.....	39
Tabela 9: Resultados ensaio de permeabilidade.	42

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 Resistência a compressão.....	33
Equação 2 Módulo de elasticidade	35
Equação 3 Coeficiente de permeabilidade.....	37

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1.1 INTRODUÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2Objetivos específicos.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	14
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
CAPÍTULO 2.....	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.1 Drenagem Urbana.....	16
2.1.2 Concreto Permeável.....	17
2.1.3 Materiais utilizados no concreto permeável	18
2.1.3.1 Aglomerantes.....	18
2.1.3.2 Agregados.....	19
2.1.3.3 Aditivos	19
2.1.4 Resíduos urbanos e meio ambiente	20
2.1.5 Reciclagem na construção civil	20
2.1.6 Pneu	21
2.1.6.1 Composição do pneu	21
2.1.6.2 Pneus Inservíveis	22
2.1.6.3 Reciclagem dos pneus	23
2.1.6.4 Alternativas de reutilização dos pneus descartados na construção civil	25
CAPÍTULO 3.....	26
3.1 METODOLOGIA.....	26
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	26
3.1.2 Dosagem do concreto	26
3.1.3 Caracterização dos materiais	27
3.1.3.1 Cimento	27
3.1.3.2 Agregados.....	27
3.1.3.3 Água	28
3.1.4 Moldagem dos corpos de prova.....	29

3.1.5 Métodos	32
3.1.5.1 Ensaio de compressão.....	32
3.1.5.2 Módulo de Elasticidade	33
3.1.3.3 Permeabilidade	35
3.1.4 Análise dos dados	38
CAPÍTULO 4.....	39
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1.1 Resistência à compressão	39
4.1.2 Módulo de elasticidade.....	41
4.1.3 Permeabilidade	42
CAPITULO 5.....	44
5.1 CONCLUSÃO.....	44
CAPÍTULO 6.....	46
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICES	51

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Com o grande desenvolvimento urbano que vem ocorrendo nos últimos anos, é recorrente o encontro de impactos gerados pelo inadequado planejamento e uso de materiais. Um dos impactos é o aumento de superfícies impermeáveis resultando em maior escoamento superficial. Deste modo, aumentando o pico das cheias e reduzindo o tempo de chegada da água aos rios, agravando o problema das enchentes urbanas. Diante deste problema, estão sendo aplicados e desenvolvidos novos conceitos de gerenciamento das águas pluviais em meio urbano. Um dos princípios desses conceitos é planejar o local onde as águas pluviais caem, evitando seu deslocamento e aumento em sua velocidade, volume e poluição (MARTINS, 2004).

O concreto permeável é uma das soluções encontradas para essa pavimentação que aumenta a capacidade de infiltração de água no solo. A diferença entre o concreto convencional e o permeável é o número de vazios. Enquanto o convencional é compacto e menos poroso, o concreto permeável é feito a partir de agregados graúdos que por si só aumentam o volume de vazios. A quantidade de brita, areia e cimento variam de acordo com a resistência desejada, porém quanto maior a resistência, menor é a permeabilidade. Portanto, este tipo de concreto é recomendado para locais de menor solicitação de carga como ciclovias e estacionamentos (GENZ, 1995).

Outro grande problema encontrado na sociedade atual é o crescimento populacional, que acarreta no desperdício desenfreado de resíduos inseridos na natureza. De acordo com Gonçalves (2003), a produção de lixo é inevitável, pois desde o mais elementar processo metabólico de um micro-organismo até o mais complexo processo industrial formam-se resíduos. Várias pesquisas são feitas em busca do reaproveitamento destes materiais de forma a diminuir os impactos causados no meio ambiente como, por exemplo, as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que servem para assessorar, estudar e propor ao governo os melhores métodos para a preservação do meio ambiente e recursos naturais.

A reciclagem é o método mais eficaz, e a prova disso é que atualmente existem muitos produtos reciclados no mercado, desde embalagens de alumínio até papel higiênico. Porém existem resíduos com certa dificuldade de decomposição na natureza como é o caso

dos pneus que, de acordo com o Instituto Akatu (2011), levam cerca de 600 anos para se decompor. A resolução 258/99 do CONAMA propõe que as empresas fabricantes e importadoras sejam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis, de forma que a cada quatro pneus novos fabricados, elas deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis.

Há uma grande necessidade de encontrar meios para o reaproveitamento de pneus, pois quando sua vida útil se esgota, tornam-se um grande problema para o meio ambiente, visto que tais dejetos causam a propagação de doenças. Uma das soluções encontradas para esses pneus é a recauchutagem que prolonga em até três vezes a vida útil do pneu (REVISTA PNEWS, 2002). Porém esse processo acaba gerando fibras de borracha de tamanhos e espessuras variadas, as quais são inseridas de forma inadequada no meio ambiente. Sendo assim, fazem-se necessários estudos que aprimorem o processo de reciclagem deste material.

Dessa forma, essa pesquisa tem como principal objetivo analisar as características de resistência à compressão, módulo de elasticidade e permeabilidade, e comparar os dados obtidos com o concreto permeável convencional para fundamentar os estudos nesta área.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar as propriedades do concreto permeável com a substituição de 50% de resíduos de borracha de pneu e compará-lo ao concreto convencional, além de verificar sua viabilidade técnica em pavimentações.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova;
- Realizar ensaio de módulo de elasticidade dos corpos de prova;
- Realizar ensaio de permeabilidade dos corpos de prova;
- Comparar os dados obtidos com os dados do concreto permeável convencional com o concreto com substituição de resíduos de borracha de pneus inservíveis.

1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), em 2016 foram fabricados cerca de 68 milhões de pneus, dos quais 12,5 milhões destinaram-se a exportação e 55,5 milhões foram destinados ao consumo interno. No Brasil, entre 110 milhões e 150 milhões de pneus estão dispersos em aterros, rios, lagos e terrenos baldios. O reaproveitamento de resíduos é um método que combate esse desperdício, e acarreta na diminuição do consumo de matéria-prima, de modo que favoreça a questão ambiental e o desenvolvimento sustentável.

O resíduo de borracha de pneu proveniente da recauchutagem é um material que causa grandes impactos no meio ambiente e pode ser reaproveitado. A utilização deste tipo de material, além de diminuir os efeitos na natureza, é um meio alternativo para a construção civil que tende a reduzir o uso das matérias primas em sua execução.

Yunping Xi *et al.* (2004) mencionam que para reutilizar resíduos sólidos, como por exemplo, partículas de borracha de pneus, vários estudos experimentais vem sendo desenvolvidos para produção de um tipo diferente de concreto – o concreto modificado com borracha, que possui características únicas com potencial para uso em diversas aplicações.

Segundo Albuquerque *et al.* (2002), a adição de borracha pode melhorar algumas características do concreto, tais como sua flexibilidade, elasticidade e capacidade de absorver energia e impacto.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O reaproveitamento de resíduos de borracha de pneu no concreto permeável teremos uma alternativa viável tecnicamente na construção civil?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Com a adição dos resíduos de borracha de pneu no concreto permeável, há uma diferença nos valores de resistência à compressão, o módulo de elasticidade e a permeabilidade quando comparados ao concreto permeável convencional. Porém, valores não

são influenciáveis na escolha do concreto, favorecendo a utilização do concreto permeável por ser um material que não degrada o meio ambiente e acarreta na diminuição de desperdícios.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada a realização de ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e permeabilidade, tendo em vista analisar a viabilidade técnica deste tipo de concreto. Serão estudados dois tipos de concreto permeável, sendo um convencional com 100% de agregado natural e que servirá de parâmetro de comparação e outro com 50% de substituição de agregado por resíduo de borracha. Para cada concreto serão moldados corpos de prova cilíndricos, sendo 06 (seis) para ensaio de compressão, 03 (três) para ensaio de módulo de elasticidade e 03 (três) para ensaio de permeabilidade, totalizando 24 amostras. Os experimentos serão realizados no laboratório de ensaios mecânicos e construção civil no Centro Universitário Assis Gurgacz, localizado na cidade de Cascavel – Paraná.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Drenagem Urbana

Ao longo do século XX, com a grande migração do meio rural para a cidade no Brasil, o processo de urbanização ocorreu de maneira rápida e desordenada, que tem provocado impactos como o agravamento das enchentes devido à impermeabilização do solo, poluição, problemas de saneamento básico, entre outros (TUCCI, 2003).

Em 99,8% dos municípios brasileiros, o serviço de drenagem urbana é prestado pelas próprias prefeituras municipais, porém em 73,4% não há instrumentos reguladores, conforme apresentado na Tabela 1. Os sistemas de drenagem estão presentes em 78,6% dos municípios. (IBGE, 2000).

Tabela 1: Municípios com serviço de drenagem urbana.

<i>Regiões</i>	<i>Total</i>	<i>Com instrumentos reguladores</i> <i>(%)</i>	<i>Sem instrumentos reguladores</i> <i>(%)</i>
Brasil	4327	26,3	73,4
Norte	222	20,7	78,8
Nordeste	1227	13,4	86,5
Sudeste	1468	26,3	73,2
Sul	1094	43,2	56,5
Centro-Oeste	316	21,8	77,8

Fonte: IBGE (2000).

De acordo com Silveira (2002), em várias cidades muitos dos loteamentos têm sua drenagem sem se basear em nenhuma norma técnica, facilitando a aceitação de projetos de eficácia duvidosa. Com isso, muitos problemas ambientais foram agravados pela drenagem urbana ser de exclusiva responsabilidade do município, sendo que geralmente há pouca preocupação sobre as consequências.

Os atuais sistemas de drenagem já estão ultrapassados, pois não atendem mais as necessidades dos centros urbanos, comprometendo o fluxo das águas na bacia. As consequências relacionadas a drenagem são: aumento de pico, aumento de volume escoado, redução do tempo de escoamento e ocorrência de cheias e enxurradas (ACIOLI, 2005).

2.1.2 Concreto Permeável

O concreto permeável, também conhecido como concreto poroso ou *porus concrete*, é um tipo especial de concreto destinado para pavimentações, muito comum nos Estados Unidos e Europa. O pavimento permeável é caracterizado pela quantidade de números de vazios, que permitem com que seja possível a drenagem de água, dependendo de sua composição. É considerado um material de construção sustentável, pois quando corretamente projetadas e implantadas, possuem influência significativa nas vazões de pico que ocorrem durante as chuvas, melhora a qualidade de recarga do lençol freático e pode reduzir o impacto da urbanização (ACI 522, 2010).

Este tipo de concreto (Figura 1) é composto por cimento Portland, agregado graúdo, pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo e água. Também pode se utilizar uma combinação de diferentes tipos de aditivos que tem como finalidade melhorar o desempenho, durabilidade, resistência e trabalhabilidade do concreto (FERGUSON, 2005).

Figura 1: Concreto Permeável.



Fonte: Ecoverde Pré-moldados (2015).

De acordo com Li (2009), o uso do concreto permeável se dá há mais de 150 anos, porém a sua real aplicação somente veio a apresentar grande avanço há pouco mais de 20 anos. As pesquisas sobre o comportamento mecânico e hidráulico tornaram-se mais atrativas devido ao bom desempenho e durabilidade quando utilizado como revestimento de pavimentos em áreas de veículos leves (como ciclovias e estacionamentos), que junto com a sua capacidade drenante, permite o seu emprego como equipamento urbano de redução dos níveis de impermeabilização.

2.1.3 Materiais utilizados no concreto permeável

O concreto permeável é produzido com os mesmos materiais utilizados na composição do concreto convencional, a diferença é que a quantidade de agregado miúdo é muito reduzida, às vezes sendo essa quantidade nula. As proporções utilizadas nas misturas do concreto permeável normalmente são mais restritas em relação ao concreto convencional, sendo necessário um controle visual rigoroso na sua produção para se obter as características desejadas no produto final (TENNIS *et. al.*, 2004).

As proporções dos materiais variam dependendo dos tipos de insumos disponíveis no local de uso, sendo que é recomendado realizar experimentos e procedimentos de dosagem em laboratório, que servirão como base para a melhor definição de dosagem.

Para a realização da produção de concretos permeáveis, a relação cimento/agregado e o procedimento de compactação ou adensamento são os dois fatores de maior importância da mistura, pois estão diretamente ligados com as características mecânicas do material (ACI, 2006).

2.1.3.1 Aglomerantes

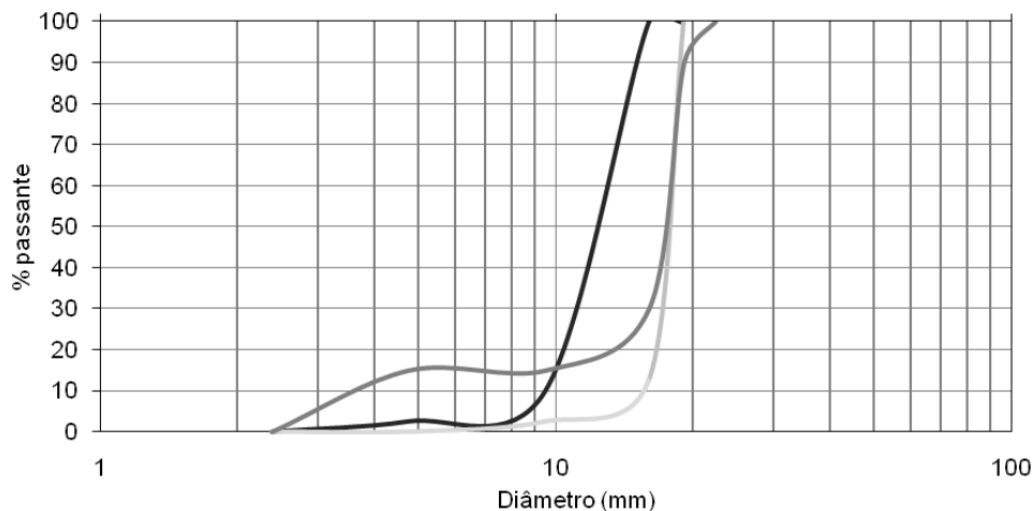
Para concretos permeáveis, o principal ligante hidráulico utilizado como aglomerante é o cimento Portland. Materiais suplementares como escória granulada de alto forno moída, cinza volante e sílica ativa, são também empregados com a finalidade de melhorar as características mecânicas. As proporções destes aditivos devem ser cuidadosamente observadas, pois é necessário que o concreto permeável tenha número de vazios suficientes para boa condutividade hidráulica.

2.1.3.2 Agregados

As curvas granulométricas de agregados utilizadas nas misturas são normalmente de diâmetro único, sendo que o diâmetro máximo utilizado é de 19 mm. Para curvas com variação do diâmetro do agregado, são comumente utilizadas graduações variando de 19 mm a 4,8 mm, 9,5 mm a 2,4 mm e 9,5 mm a 1,2 mm (TENNIS *et. al.*, 2004).

Na Figura 2 são apresentadas três curvas granulométricas típicas de misturas de concreto permeável, onde o diâmetro máximo utilizado é de 19 mm (LI, 2009).

Figura 2: Três curvas granulométricas comumente utilizadas em concreto permeável.



Fonte: Li (2009).

2.1.3.3 Aditivos

Pelo mesmo motivo que os aditivos químicos são empregados no concreto convencional, para concreto permeável também são incorporados. Para controle de pega que no concreto permeável acontece rapidamente, são adicionados aditivos retardadores de pega. Dependendo da relação água/cimento, aditivos redutores de água também são utilizados (PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT, 2011).

2.1.4 Resíduos urbanos e meio ambiente

Os resíduos urbanos são associados a tudo que não presta e precisa ser eliminado. Entretanto, o lixo é constituído por 40% de materiais recicláveis. Os problemas ambientais causadas por resíduos sólidos ocorrem de variadas formas, desde a carência de alguns elementos naturais até a poluição dos ecossistemas terrestres (GONÇALVES, 2003).

A deposição dos resíduos em aterros sanitários gera o desperdício, por tempo indefinido do recurso limitado que é o solo. Esta concentração de resíduos perigosos em aterros sempre está sujeita a acidentes de graves consequências, no caso específico do pneu, podendo ocorrer a lixiviação de seus componentes que contaminam o solo e prejudicam os micro-organismos presentes (KAMIMURA, 2002).

2.1.5 Reciclagem na construção civil

A reciclagem é o conjunto de atividades que reaproveita ou reutiliza resíduos sólidos que são considerados lixo. A reciclagem é uma alternativa viável para minimizar os impactos causados pelo consumo de matérias-primas e energia (LEITE, 2001).

O campo da construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais, estimando-se um consumo de 30% dos recursos naturais extraídos pela sociedade, percentual que equivale a 220 milhões de toneladas de agregados naturais por ano (FRANÇA, 2004).

De acordo com John (2000), a reciclagem de resíduos na construção civil pode resultar numa maior quantidade de produtos alternativos, assim como soluções mais adequadas para situações específicas.

Para que o uso de determinados resíduos seja viável, este tem que atender a alguns critérios. A quantidade de material disponível deve ser grande o suficiente a ponto de adequar-se aos sistemas de manuseio, processamento e transporte. O resíduo não pode ser potencialmente nocivo durante a construção ou a construção em que será aplicada. Estudos já comprovaram a efetividade da adição de alguns resíduos no concreto, que resultaram em: aumento da resistência, redução de fissuras, redução de custos, diminuição do calor de hidratação, etc. (JOHN, 2006).

Nos Estados Unidos a construção civil é o segundo maior mercado para a utilização dos pneus inservíveis, onde na década de 90 as aplicações na engenharia civil subiram de 500

mil para aproximadamente 40 milhões de pneus por ano. A utilização destes resíduos é uma maneira de diversificar e aumentar a diversidade de matérias de construção, viabilizando eventuais reduções de preço (KAMIMURA, 2002).

2.1.6 Pneu

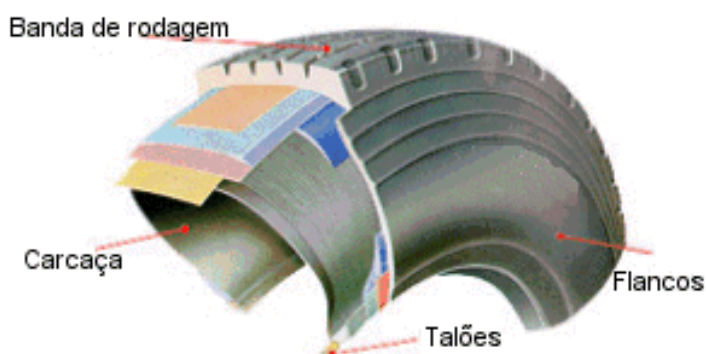
A invenção do pneu deu-se por acaso, o norte-americano Charles Goodyear descobriu o processo de vulcanização da borracha quando deixou cair acidentalmente borracha e enxofre no fogão. O primeiro pneu foi patenteado por Thomson em 1845, porém a utilização do mesmo só aconteceu depois de 1888, quando Dunlop colocou nas rodas de madeira do triciclo de seu filho tubos de borracha coberto de lona (PINHEIRO, 2001).

De acordo com Pinheiro (2001), as primeiras fábricas de pneu surgiram no final do século XIX. Em 1894 iniciou a produção de pneus para automóveis. Desde então, o pneu tem sido cada vez mais aprimorado devido às pesquisas e desenvolvimento de sua estrutura e seus componentes. Em 1955 o pneu dispensou a câmara de ar, sendo então chamado de pneumático.

2.1.6.1 Composição do pneu

O pneu é composto de diversos elementos, cada um com formulação própria para melhorar seu desempenho específico. Basicamente, o pneu é composto de banda de rodagem, carcaça, flancos e talões. Na Figura 3 é ilustrada a estrutura básica de um pneu (PINHEIRO, 2001).

Figura 3: Estrutura básica de um pneu.



Fonte: Setor Reciclagem (2015).

Carcaça: é a estrutura esquelética do pneu, construída para receber pressão, carga e impacto. Retém o ar sobre pressão para suportar o peso e a carga do veículo. Pode ser fabricado de poliéster, nylon ou aço.

Talões: é um anel de borracha composto por diversos arames de alta resistência, unidos e recobertos por borracha. Tem como função acoplar o pneumático ao aro, impedindo o vazamento de ar.

Flancos: é a parte lateral do pneu, constituído por borracha de alta flexibilidade e alta resistência à fadiga. Têm a função de proteger a carcaça.

Banda de rodagem: é a parte que está em contato com o solo e que transmite a força do motor em tração. É formada por um composto de borracha resistente ao desgaste. Tem o objetivo de propiciar ao veículo aderência ao solo, tração de aceleração e de frenagem, estabilidade e segurança (VIAS SEGURAS, 2013).

2.1.6.2 Pneus Inservíveis

De acordo com o CONAMA (1999), é definido como pneu inservível aquele que não há a possibilidade de reaproveitamento para uso veicular e nem para processos de reforma como recapagem, recauchutagem e remoldagem.

O grande aumento na produção de pneus, assim como o aumento dos resíduos dos pneus inservíveis, causa grande preocupação devido a sua destinação final. De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), em 2016 foram produzidos cerca de 68 milhões de pneus. De acordo com a RECICLANIP, entidade responsável pela coleta e destinação de pneus inservíveis, foram recolhidas cerca de 76,8 milhões de unidades de pneus de carros de passeio entre janeiro e outubro de 2016.

Os pneus quando descartados geralmente são depositados inteiros em aterros sanitários, jogados em terrenos baldios, rios e lagos, ou até mesmo queimados o que emite grandes quantidades de gases tóxicos. A falta de conscientização da sociedade é um grande fator de influência para que novas pesquisas desses pneus sejam realizadas (SANTOS e BORJA, 2005).

O pneu inservível é um problema mundial, se sua coleta e destinação forem incorretas, podem comprometer o meio ambiente e até provocar incêndios (Figura 4) pela ignição de elementos inflamáveis que contém. Cada pneu queimado libera aproximadamente 10 litros de óleo, que podem percolar o solo e atingir o lençol freático.

Figura 4: Queima de pneus inservíveis em depósito clandestino de Porto Velho - Rondônia.



Fonte: Rondoniavivo (2011).

Um notório problema no Brasil diz respeito à administração de resíduos sólidos urbanos, principalmente quando se trata da preservação dos recursos naturais e dos impactos ambientais. São cada vez mais frequentes os estudos com o intuito de minimizar as causas dessa produção desenfreada de resíduos (ANDRADE, 2007).

A indústria de veículos automotores terrestres é a maior indústria do mundo, a produção destes tem crescido conforme vem crescendo a procura dos mesmos. Tendo em consideração que o descarte do pneu tem aumentado tanto quanto a sua produção, essa destinação preocupa a sociedade em relação à qualidade do meio ambiente (BERTOLLO, JUNIOR E SCHALCH, 2002).

2.1.6.3 Reciclagem dos pneus

Tendo em vista todos os problemas em relação ao descarte e destinação final dos pneus inservíveis, o CONAMA decidiu criar a Resolução 258/99. Esta resolução estabelece que as empresas fabricantes e as importadoras de pneus, são responsáveis pelo ciclo completo de seu produto. Portanto, ficam responsáveis pela coleta, transporte e a disposição final dos seus produtos, onde o não cumprimento da resolução está sujeito a punições estipuladas em lei. Desde 2005 a resolução impõe que para cada 4 novos pneumáticos colocados no mercado brasileiro, 5 devem ter sua destinação final comprovada diante do IBAMA.

Depois de usada, a borracha do pneu não pode voltar à produção de um novo pneu, entretanto existem processos que substituem as partes mais comprometidas do pneu e aumentam sua vida útil. A recauchutagem e a remoldagem são os processos mais conhecidos de reciclagem de pneus. De acordo com dados do CEMPRES – Compromisso Empresarial Para Reciclagem (2003), a frota de carga e de passageiros do Brasil é composta por 70% de pneus provenientes do processo de recauchutagem.

A recauchutagem aumenta a vida útil do pneu em 40%, porém gera resíduos, devido à banda de rodagem que é raspada, preparando a textura da superfície para receber a nova borracha para aplicação de uma nova camada (AKASAKI, 2003).

A remoldagem consiste em montar o pneu em máquinas que o fazem girar em alta velocidade, fazendo com que a sujeira presa ao pneu se desprenda da borracha, enquanto a da banda de rodagem e os flancos são removidos por processo de raspagem. Em seguida, a carcaça recebe nova camada de borracha para posterior vulcanização. A remoldagem de pneus economiza até 20 litros de petróleo para pneus de passeio. Este tipo de pneu chega a ser até 50% mais barato que pneus novos e recomenda-se que seja usado para uso urbano onde a velocidade não ultrapasse 90 km/h (GARAGEM360, 2016).

Os processos de recauchutagem e remoldagem geram economia de energia e matéria-prima, porém também originam resíduos poluentes e de difícil degradação, as raspas de borracha que são apresentadas na Figura 5 (AKASAKI, 2003).

Figura 5: Resíduos de borracha.



Fonte: Ecolatex (2015).

2.1.6.4 Alternativas de reutilização dos pneus descartados na construção civil

De acordo com Santos e Borja (2005), uma alternativa conveniente para o reaproveitamento do pneu na construção civil seria incluir estes resíduos em argamassas e concretos. Vários estudos foram realizados em relação ao material e avaliaram algumas propriedades de misturas com adição de borracha.

Eldin e Senoucci (1993) estudaram a utilização da borracha de pneu como agregado, e perceberam que a resistência mecânica atua de forma negativa quando adiciona a borracha de pneu, perdendo de 25 a 85% da eficiência. Os autores também notaram que a forma e o tamanho do resíduo influenciam diretamente nos resultados.

Entretanto, notaram que a argamassa com adição de borracha apresentou um bom desempenho em algumas das propriedades como isolamento térmico e acústico. Também notaram a diminuição da trabalhabilidade desta argamassa.

Toutanji (1996) pesquisou a substituição dos agregados graúdos do concreto por agregado de borracha em 25, 50, 75 e 100%. Ele observou que a perda na resistência à compressão é o dobro da perda da resistência à flexão e que o concreto passou a ter grande deformação antes da fratura.

As aplicações de pneumáticos na construção civil são inúmeras, temos alguns exemplos como: pavimento de concreto, utilização em coberturas e paredes, rodovias asfálticas, concretos com baixa exigência estrutural, utilização em telhas de concreto, blocos e painéis de alvenaria, entre outros.

Accetti e Pinheiro (2000) estudaram a adição de fibras de borracha ao concreto e determinaram que estas atuam como barreiras no desenvolvimento de fissuras. As fibras de borracha interceptam as microfissuras durante seu endurecimento e impedem a sua progressão, assim evitando o surgimento prematuro de fissuras.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Essa pesquisa consistiu em um estudo que visou avaliar as propriedades do concreto permeável produzido com adição de resíduos de borracha de pneu. Para a determinação do traço e materiais utilizados na produção dos concretos, foram consideradas publicações e normas pertinentes ao tema.

A caracterização dos materiais, dosagem, moldagem, cura e ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel – PR.

3.1.2 Dosagem do concreto

Conforme a revisão bibliográfica realizada, encontraram-se diversos procedimentos e métodos para o cálculo das dosagens de concreto. Na Tabela 2 são apresentadas as faixas típicas de consumo e proporções de materiais.

Tabela 2: Consumo e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável.

MATERIAIS	CONSUMO/PROPORÇÃO
Ligante hidráulico (kg/m ³)	270 - 415
Agregado graúdo (kg/m ³)	1.190 – 1.700
Relação água/cimento em massa	0,27 - 0,34
Relação cimento/agregado em massa	1:4 - 1:4,5
Relação agregado miúdo/agregado graúdo em massa	0 - 1:1

Fonte: Duarte e Kronka (2006).

O traço utilizado é o mesmo que Batezin (2013) utilizou em sua dissertação. Na Tabela 3 são apresentadas as composições utilizadas.

Tabela 3: Composições utilizadas.

MATERIAIS	CONSUMO/PROPORÇÃO
Consumo de cimento (kg/m ³)	374
Consumo de agregado graúdo (kg/m ³)	1.660
Relação água/cimento em massa	0,3
Relação cimento/agregado em massa	1:4,4
Relação agregado miúdo/agregado graúdo em massa	0

Fonte: Batezin (2013).

Após a definição do traço, com base no consumo de materiais especificados na Tabela 3, foram confeccionados 24 corpos de prova, sendo 12 de concreto permeável convencional e 12 de concreto permeável com 50% de substituição do agregado graúdo por resíduo de borracha de pneu provenientes do processo de recauchutagem e triturados.

3.1.3 Caracterização dos materiais

Para o desenvolvimento dos experimentos foram utilizados materiais comumente empregados para a confecção de concretos na região do Paraná, especificamente da cidade de Cascavel.

3.1.3.1 Cimento

O aglomerante empregado foi o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV – ARI), atendendo as exigências da NBR 5733 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ABNT, 1991).

3.1.3.2 Agregados

Optou-se por não utilizar agregado miúdo, pelo fato de não ser muito utilizado em concretos permeáveis. Já o agregado graúdo é de origem basáltica, com dimensão característica de 9,5 mm e classificado como brita 0. A composição granulométrica dos agregados foi determinada com base na NBR NM 248 – Agregados: Determinação da

composição granulométrica (ABNT, 2003). Foi realizado ensaio de granulometria, utilizando-se 5 kg de amostra. Na tabela 4 são apresentados os ensaios de granulometria para brita 0.

Tabela 4: Granulometria brita 0.

PENEIRA (mm)	MASSA RETIDA (kg)
9,5	0
6,3	1,53
4,8	1,72
Fundo	1,75

Fonte: Autor (2017).

Com a granulometria especificada, foram realizados ensaios para determinação do teor de umidade, da massa específica e absorção da água conforme especificações da NBR 9939 – Agregados: Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado gráudo e NBR NM 53 – Agregado gráudo: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Na tabela 5 são apresentados os valores resultantes nos ensaios de caracterização.

Tabela 5: Ensaio de caracterização.

ENSAIO	RESULTADO
Massa Específica	1,57 g/cm ³
Teor de Umidade	0,67 %
Absorção	1,00 %

Fonte: Autor (2017).

3.1.3.3 Água

Foi utilizada para a produção do concreto a água cujo fornecimento é feito pela rede de abastecimento da cidade de Cascavel, Paraná.

3.1.3.4 Borracha de pneu

Os resíduos de borracha de pneu utilizados como agregados gráudos são provenientes do processo de recapagem e triturados, fornecido por empresa específica na área. Os resíduos de borracha utilizados são representados na Figura 6.

Figura 6: Resíduos de borracha de pneus inservíveis triturado.



Fonte: Autor (2017).

3.1.4 Moldagem dos corpos de prova

Schaefer *et al.* (2006), estudaram vários processos diferentes de mistura para confecção de corpos de prova de concreto permeável, e concluíram que a ordem de mistura altera as características do resultado final. Com isso, decidiram estabelecer um procedimento padrão que foi o que apresentou as melhores propriedades mecânicas e hidráulicas. O procedimento utilizado foi o mesmo pesquisado que consiste em:

- Adicionar todo o agregado na betoneira com 5% do peso total do cimento;
- Misturar por 1 minuto;
- Adicionar o restante dos materiais;
- Misturar por 3 minutos;
- Deixar a mistura em repouso por 3 minutos;
- Misturar por mais 2 minutos.

A moldagem dos corpos de prova foi executada após o processo de mistura, seguindo as recomendações da NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2003).

Suleiman *et al.* (2006), estudaram a influência da energia de compactação nas propriedades do concreto permeável e chegaram à conclusão de que utilizando 15 golpes de bastão metálico em cada uma das três camadas do corpo de prova cilíndrico, tem suas

condições de resistência mecânica após a cura melhorada. Sendo assim, o procedimento de compactação consistiu em 45 golpes por amostra. Para seguir o procedimento especificado pelo autor, foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos com dimensões 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura e 18 corpos de prova com dimensões 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Na Tabela 6 é apresentada a quantidade de corpos de prova para cada ensaio realizado.

Tabela 6: Ensaios realizados e quantidade de corpos de prova.

ENSAIO	CONCRETO PERMEÁVEL CONVENCIONAL	CONCRETO PERMEÁVEL COM SUBSTITUIÇÃO DE 50% DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU
Compressão	6	6
Módulo de Elasticidade	3	3
Permeabilidade	3	3
Total	12	12

Fonte: Autor (2017).

Após a realização da concretagem e adensamento, os corpos de prova foram numerados e devidamente colocados sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações, e de qualquer outra ação que pudesse perturbar o concreto, em local protegido de intempéries, sendo mantidos nos moldes pelo período de um dia. Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os corpos de prova dentro dos moldes.

Figura 7: Moldagem do corpo de prova.



Fonte: Autor (2017).

Figura 8: Corpo de prova sem adição de borracha dentro dos moldes.



Fonte: Autor (2017).

Decorrido esse período, os corpos de prova foram desmoldados (Figuras 9 e 10) e submetidos à cura, em uma câmara úmida com umidade e temperatura controlada ($UR \geq 95\%$ e temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$), na qual foram armazenados e ensaiados na idade de 28 dias.

Figura 9: Corpos de prova convencional desmoldados e etiquetados.



Fonte: Autor (2017).

Figura 10: Corpos de prova com adição de borracha desmoldado e etiquetado.



Fonte: Autor (2017).

3.1.5 Métodos

3.1.5.1 Ensaio de compressão

Os ensaios de resistência à compressão (Figura 11) foram realizados conforme prescrições da NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2007).

Foi utilizada uma prensa computadorizada da marca CONTENCO com capacidade de 100 toneladas. As faces dos pratos de carga e do corpo de prova foram limpas e secas antes de serem colocados em posição de ensaio. O corpo de prova foi centralizado no prato inferior para que a carga aplicada ocorresse no centro do mesmo. A carga de ensaio então foi aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s.

Figura 11: Rompimento do corpo de prova convencional.



Fonte: Autor (2017).

O valor da resistência à compressão foi calculado conforme Equação 1.

$$f_c = \frac{N_{rup}}{A} \quad (1)$$

Onde:

f_c = resistência a compressão em MPa;

N_{rup} = carga de ruptura do corpo de prova em N;

A = área da seção transversal do corpo prova em mm².

3.1.5.2 Módulo de Elasticidade

Para a realização deste ensaio, o procedimento foi baseado na NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (ABNT, 2008).

A norma descreve a realização do ensaio (Figura 12) em etapas:

- Primeiramente, deve-se carregar o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_b), equivalente a 30% da tensão de ruptura, e mantê-la neste nível por 60 segundos, em seguida descarregar o corpo de prova até uma força próxima de zero sem que o prato superior da máquina perca o contato com o topo do corpo de prova.

- Carregar o corpo de prova até a força correspondente a tensão de 0,5 MPa e mantê-la por 60 segundos. Em seguida, carregar até a força correspondente à tensão do limite superior e manter a força neste nível por 60 segundos. Descarregar o corpo de prova até uma força próxima de zero sem que o prato superior da máquina perca o contato com o topo do corpo de prova.

- Realizar novamente a segunda etapa.

- Carregar o corpo prova até a força correspondente a tensão de 0,5 MPa e mantê-lo neste nível por 60 segundos. Registrar as deformações lidas (ε_b) tomadas em no máximo 30 segundos. Em seguida, carregar o corpo de prova até a força correspondente a tensão do limite superior e mantê-la neste nível por 60 segundos. Registrar as deformações lidas (ε_a) tomadas em no máximo 30 segundos. Após a leitura das deformações, liberar a instrumentação, se necessário, e carregar o corpo de prova na mesma taxa de velocidade utilizada durante as etapas até que se produza a ruptura, obtendo-se a resistência efetiva. Se a resistência efetiva diferir da resistência de compressão em mais de 20% os resultados devem ser descartados.

Figura 12: Aplicação de carga no corpo de prova com equipamento.



Fonte: Autor (2017).

Com isso, o módulo de elasticidade foi calculado conforme a Equação 2.

$$E_c = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \times 10^3 \quad (2)$$

Onde:

E_c = módulo de elasticidade em GPa;

σ_b = tensão do limite superior em MPa;

0,5 = tensão básica em MPa;

ε_b = deformação específica média dos corpos de prova sob a tensão maior;

ε_a = deformação específica média dos corpos de prova sob a tensão básica.

3.1.3.3 Permeabilidade

Para a realização deste ensaio, conforme especificado na NBR 10786 – Concreto endurecido – Determinação do coeficiente de permeabilidade à água (ABNT, 2013), foram confeccionados corpos de prova com dimensões de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura e após o tempo de cura foram serrados (Figuras 13 e 14) 75 mm em cada extremidade, obtendo-se dimensões de 150 mm de diâmetro e 150 mm de altura.

O ensaio realizado é proposto por Neithalath *et al.* (2003) e adaptado por Höltz (2011) com o intuito de simplificar o processo. O método consiste em inserir uma amostra de concreto permeável encamisado com uma faixa látex, para evitar fluxo lateral, dentro de um corpo principal de tubo de PVC rígido. Outro tubo é usado para formar um reservatório sobre o corpo de prova, e na parte inferior do equipamento se acopla um terceiro tubo com uma válvula, que se conecta com um tubo vertical com altura ajustada para registrar o tempo de fim de ensaio. A Figura 15 apresenta o aparelho montado.

Figura 13: Corpo de prova serrado para realização de ensaio de permeabilidade.



Fonte: Autor (2017).

Figura 14: Vista superior dos corpos de prova - Na esquerda com substituição de borracha e na direita convencional.



Fonte: Autor (2017).

Figura 15: Aparelho para realização do ensaio de permeabilidade sem o reservatório.



Fonte: Autor (2017).

O procedimento do ensaio começou encamisando o corpo de prova com uma faixa látex e posicionado dentro do tubo. Instalou-se o reservatório de água ao corpo principal e foi adicionada água no reservatório até completar o nível desejado para início do ensaio. Após três minutos de espera para que ocorresse a saturação do corpo de prova, foi completado o nível do reservatório. Por fim, a válvula foi aberta e a água que se encontra no reservatório começa a escoar através do concreto já saturado, até que todo o excesso seja drenado pelo tubo vertical, nivelando a altura da água 10 mm acima do topo do corpo de prova. Cronometrou-se o tempo para a água percolar o concreto, entre o ponto 290 mm e 70 mm do tubo de acrílico.

Os ensaios foram realizados três vezes para cada corpo de prova, a fim de encontrar o tempo médio de ensaio.

Com isso, o coeficiente de permeabilidade deve ser conforme a Equação 3.

$$K = \frac{A_1 \times l}{A_2 \times t} \times \log \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \quad (3)$$

Onde:

K = coeficiente de permeabilidade (mm/s);

A_1 = área do reservatório (mm²);

A_2 = área do permeâmetro (mm²);

l = comprimento do corpo de prova (mm);

t = tempo decorrido para percolação da água (s);

h_1 = altura referencial (mm);

h_2 = altura referencial (mm).

3.1.4 Análise dos dados

Os dados obtidos foram apresentados em tabelas e gráficos gerados no Excel e nos próprios equipamentos nos quais foram realizados os ensaios, onde as propriedades do concreto permeável com resíduo de borracha foram analisadas, comparando com os resultados adquiridos de um concreto permeável convencional e observando sua viabilidade técnicas.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Resistência à compressão

Os resultados do ensaio de compressão estão compreendidos na Tabela 7 e 8, e na Figura 16 é apresentado a média. De acordo com Schaefer et. al. (2006), os valores médios aceitáveis de resistência à compressão para concreto permeável variam entre 4,1 MPa e 55,8 MPa.

Tabela 7: Resistência à compressão – Concreto permeável convencional.

CORPO DE PROVA	CARGA DE RUPTURA (kgf)	ÁREA (mm ²)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
CP 01	5880	7853,98	7,34
CP 02	9850	7853,98	12,30
CP 03	7460	7853,98	9,31
CP 04	8240	7853,98	10,29
CP 05	7230	7853,98	9,03
CP 06	6720	7853,98	8,39

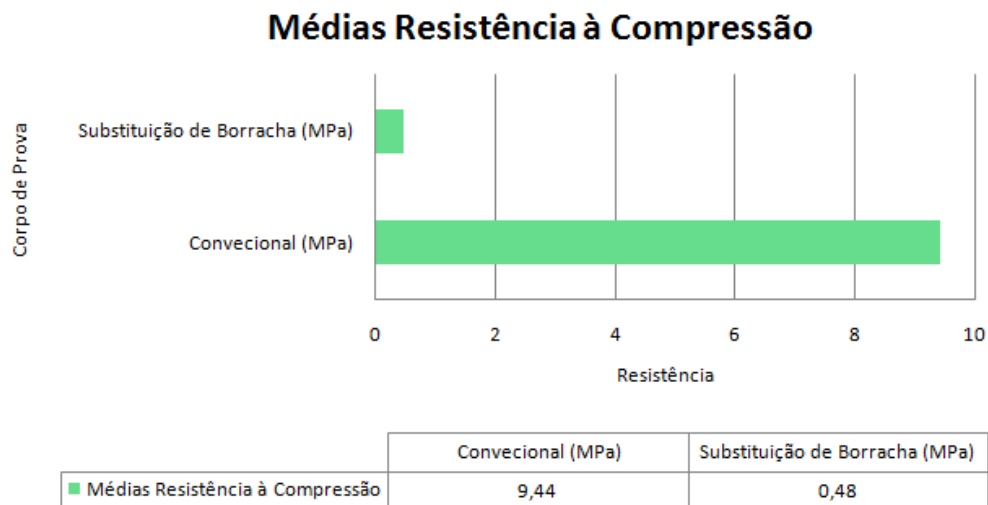
Fonte: Autor (2017).

Tabela 8: Resistência à compressão – Concreto permeável com adição de borracha.

CORPO DE PROVA	CARGA DE RUPTURA (kgf)	ÁREA (mm ²)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
CP 01	210	7853,98	0,26
CP 02	180	7853,98	0,22
CP 03	280	7853,98	0,35
CP 04	980	7853,98	1,22
CP 05	350	7853,98	0,44
CP 06	320	7853,98	0,40

Fonte: Autor (2017).

Figura 16: Média do ensaio de Resistência à compressão.



Fonte: Autor (2017).

Analisando a tabela, percebemos que os valores encontrados possuem uma grande diferença, onde o concreto permeável convencional está dentro dos padrões e o concreto permeável com adição de borracha possui valores significativamente inferiores ao permitido, não atendendo valores desejados. Estes valores devem-se ao fato de que a substituição do agregado graúdo por resíduo de borracha foi excessiva. Os Anexos A e B compreendem os resultados dos ensaios.

As Figuras 17 e 18 apresentam o corpo de prova após o ensaio de compressão.

Figura 17: Corpo de prova convencional rompido.



Fonte: Autor (2017).

Figura 18: Corpo de prova com adição de borracha rompida.



Fonte: Autor (2017).

4.1.2 Módulo de elasticidade

Não foi possível obter valores para o ensaio de módulo de elasticidade. O ensaio consiste em aplicar uma tensão básica de 0,5 MPa e outra tensão do limite superior, que equivale a 30% da resistência a compressão. Como a média da resistência à compressão do corpo de prova com adição de borracha possui um valor equivalente a 0,4 MPa, menor que a tensão básica, o equipamento não aceita tal valor para a realização do teste. Com isso foi testado com uma tensão de 1,0 MPa, valor este que é o mínimo aceito pelo equipamento. Porém, a realização do ensaio não foi satisfatória, pois já havia o rompimento do corpo de prova antes da finalização do procedimento.

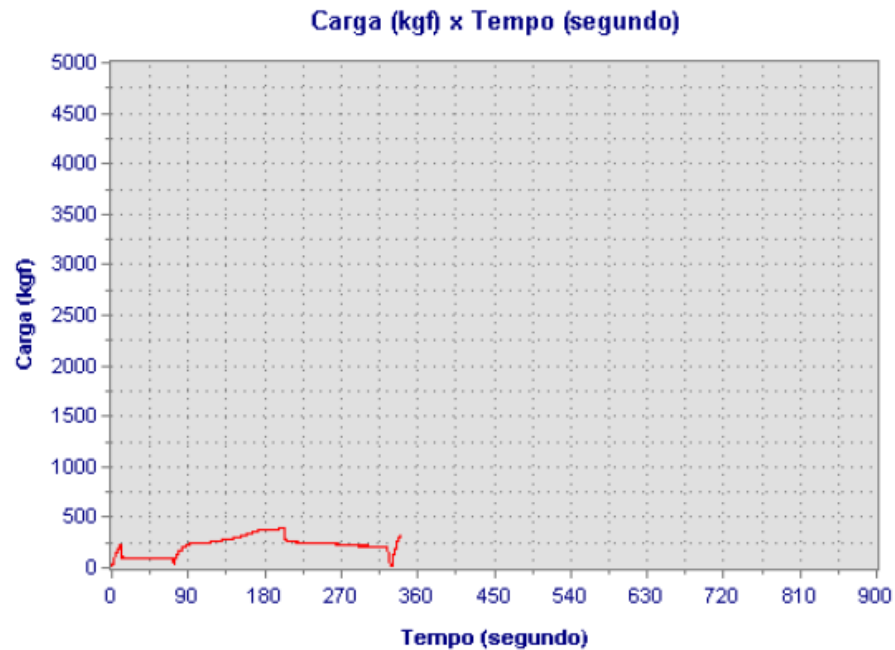
Na Figura 19 é representado o resultado da tentativa do ensaio de módulo de elasticidade.

Figura 19: Resultados da tentativa do ensaio de módulo de elasticidade no corpo de prova com adição de borracha.

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 400
 Tensão máxima (MPa): 0,5
 Mód. Elasticidade (GPa): 0,0

Gráfico do ensaio realizado



Fonte: Autor (2017).

4.1.3 Permeabilidade

A principal característica desejada em um concreto permeável é a sua capacidade de drenar água, estando ela ligada ao índice de vazios característico do material.

Tabela 9: Resultados ensaio de permeabilidade.

<i>Corpo de Prova</i>	<i>Permeabilidade (cm/s)</i>
CP Convencional 01	1,38
CP Convencional 02	1,37
CP Borracha 01	0,71
CP Borracha 02	0,74

Fonte: Autor (2017).

Analisando a Tabela 9, notamos que o concreto permeável com substituição de borracha possui menor permeabilidade que o convencional. Fato que se deve a um bloqueio dos resíduos de borracha que não se homogeneizaram na mistura, assim diminuindo o índice de vazios.

Observa-se que os valores variam de 0,71 a 1,38 cm/s. Os valores encontrados por Schaefer et. al. (2006) variavam de 0,01 cm/s a 1,5 cm/s, sendo assim, os valores obtidos pelo ensaio apresentam-se dentro da faixa admissível para conduzir uma boa drenagem de água. O Anexo C compreende os cálculos do ensaio de permeabilidade.

CAPITULO 5

5.1 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar as propriedades do concreto permeável com adição de resíduos de borracha de pneus inservíveis a fim de se executar o mesmo em pavimentações como calçadas e estacionamentos. Os resultados encontrados não são satisfatórios, devendo ser mais trabalhados a fim de encontrar melhores resultados para resistência à compressão para que este tipo de concreto seja uma alternativa viável e sustentável.

Quando comparamos a resistência à compressão do concreto permeável com adição de borracha com o concreto permeável convencional, notamos que há uma grande diferença entre os valores. De acordo com a revisão bibliográfica, os valores admissíveis para resistência à compressão de concretos permeáveis variam de 4,1 a 55,8 MPa. Os resultados obtidos de resistência para o concreto com adição de borracha são abaixo do admissível, sendo que a média dos valores encontrado é 0,4 MPa. Acredita-se que a razão para tais valores seja devido à quantidade de substituição do agregado graúdo por resíduos de borracha. Por ser um material pouco resistente, quando se substitui 50% do agregado pelo mesmo, os valores de resistência caem drasticamente.

Em relação ao módulo de elasticidade, a análise dos dados não foi possível tendo em vista que não se obteve sucesso na realização do ensaio. São necessários valores de resistência à compressão mais elevados para que o ensaio seja realizado com êxito.

O coeficiente de permeabilidade apresenta excelentes resultados, sendo os únicos resultados satisfatórios deste projeto. Apesar de o concreto permeável com adição de borracha apresentar valores menores quando comparado com o concreto permeável convencional, os resultados ainda são satisfatórios. De acordo com as pesquisas realizadas, os valores de variam entre 0,01 a 1,5 cm/s. Como a média encontrada é de 0,73 cm/s, ele está de acordo com as expectativas.

Em geral, conclui-se que este traço de concreto permeável com adição de resíduos de borracha de pneus inservíveis não é utilizável por não apresentar resultados satisfatórios, sendo necessário realizar novos estudos relacionados a este tipo de concreto. A realização de testes com diferentes traços buscando aumentar sua resistência à compressão se torna uma boa opção para projetos futuros.

Vale a pena pesquisar este tipo de concreto, pois ele apresenta muitas vantagens em sua utilização, apesar de não ser uma opção esteticamente atraente como o concreto convencional. Este tipo de concreto possui características únicas, que necessita de uma instalação mais cuidadosa e adequada, além de permitir a drenagem das águas pluviais, combate o aquecimento global, absorve ruídos e permitir a arborização nos centros urbanos. E quando é adicionada a borracha no mesmo, diminuem-se os resíduos gerados e impactos causados pela degradação do material no meio ambiente que levam cerca de 600 anos para se decompor, sendo uma ótima alternativa sustentável para a construção civil.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para a realização de trabalhos futuros:

- Traço de concreto permeável com adição de 25% de resíduo de borracha de pneus inservíveis;
- Analisar a utilização do agregado miúdo no traço;
- Realizar ensaios de índice de vazios;
- Analisar a viabilidade econômica deste tipo de concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone** – NBR NM 67/1998.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Agregados – Determinação da composição granulométrica** – NBR NM 248/2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Cimento Portland de alta resistência inicial** – NBR 5733/1991.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova** – NBR 5738/2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos** – NBR 5739/1994.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão** – NBR 8522/2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Concreto endurecido – Determinação do coeficiente de permeabilidade à água** – NBR 10786/1989.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Cimento Portland composto** – NBR 11578/1991.

ACCETTI, K. M.; PINHEIRO, I. M. **Tipos de Fibras e Propriedades do Concreto com Fibras**. 42º. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Fortaleza/CE, 2000.

ACI Committee 318, **Building Code Requirements for Structural Concrete**. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, p. 473, 2008.

ACI 522R-06. **American Concrete Institute, Pervius Concrete**. Disponível em: <http://www.udfcd.org/downloads/pdf/tech_papers/Pervius_Concrete_Guide_2009_08-18.pdf>. Acesso em: 13 abril. 2014

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle de escoamento superficial na fonte**. Porto Alegre, UFRGS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Março/2005. 162p.

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **ANIP – Produção e Vendas 2016**. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf>> Acesso: 05 abril 2017.

BERTOLLO, S. M.; JUNIOR, J. L. F.; SCHALCH, V. **Benefícios da Incorporação de Borracha de Pneu em Pavimentos Asfálticos**. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniera Sanitaria y Ambiental. Cancun – Mexico, 27 a 31 de outubro, 2002.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 258**, 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>> Acesso: 20 abril 2017.

DUARTE, D.; KRONKA, R. **Arquitetura, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, 2006.

Ecoverde Pré-Moldados. **Soluções em Concreto Permeável**. Disponível em: <<http://ecoverdepremolados.com.br/2017/03/03/solucoes-em-concreto-permeavel/>> Acesso em: 01 jun. 2017.

Ecolatex. **Raspa de borracha granulada 100% reciclada**. Disponível em: <<http://www.ecolatex.com.br/borracha.html>> Acesso em: 25 maio 2017.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements**. Boca Raton: CRC Press, c2005.

FIGUEIREDO, P. J. M. A Sociedade do Lixo: os Resíduos, a Questão Energética e a Crise Ambiental. Piracicaba/SO, Editora UNIMEP, 1994.

FRANÇA, V. H. **Aderência Aço-concreto – Uma Análise do Comportamento do Concreto Fabricado com Resíduos de Borracha**. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira/SP, p. 128, 2004.

Garagem 360. **Pneu remold é opção para quem quer gastar menos**. Disponível em: <<https://garagem360.com.br/pneu-remold-e-opcao-para-quem-quer-gastar-menos/>> Acesso em: 21 maio 2017.

GENZ, F; TUCCI, C. E. M. **Infiltração em Superfícies Urbanas**. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, vol. 13, n. 1, jun. 1995

GONÇALVES, P. A Reciclagem Integradora dos Aspectos Ambientais, Sociais e Econômicas. Rio de Janeiro/RJ, Editora FASE DP & A, 2003.

HÖLTZ, F. C. **Uso de Concreto Permeável na Drenagem Urbana: Análise da Viabilidade Técnica e do Impacto Ambiental**. Dissertação (Pós-Graduação). Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, p. 138, 2011.

IBGE. **Censo Demográfico 2000**. MPOG. Governo Federal. Brasil. 2000.

JOHM, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, p. 102, 2000.

KAMIMURA, E. **Potencial de Utilização dos Resíduos de Borracha de Pneus pela Indústria da Construção Civil**. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, p. 128, 2002.

KHATIB, Z. K.; BAYOMY, F. M. **Rubberized Portland Cement Concrete**. Journal of Materials in Civil Engineering, V 11, n. 3, p. 206-213, 1999.

LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição**. Tese (Doutorado) Engenharia Civil UERGS. Porto Alegre/RS, p. 236, 2001.

LI, J. **Mix Design of Pervious Recycled Concrete**. GeoHunan International Conference – Material Design, Construction, Maintenance and Testinf of Pavements. V. 195, n. 15, p. 103-108, 2009.

MARTINS, M. J. **Gerenciamento de Recursos Hídricos e Drenagem Urbana no Município de São João de Meriti**. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil UFRJ, 2004, p. 145.

MCCAIN, G. N.; DEWOOLKAR, M. M. **Strenght and Permeability of Porous Concrete Pavements**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. p. 01-13, 2009.

NEITHALATH, N.; WEISS, W.; OLEK, J. **Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concret Paving Materials**. Final Report, The Institue for Safe, Quiet and Durable Higways, 2003.

Pervious Concrete Pavement. Disponível em: <<http://www.perviouspavement.org/>> Acesso em: 18 maio 2017.

RECICLANIP: O ciclo sustentável do pneu. **Indústria já recolheu mais de 4 milhões de toneladas de pneus inservíveis**. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/v3/releases/industria-ja-recolheu-mais-de-4-milhoes-de-toneladas-de-pneus-inserviveis/88/20161129/>> Acesso em: 20 maio 2017.

Revista PNEWS. São Paulo, n. 34, 2002.

Rodoniaovivo. **Fumaça de depósito clandestino de pneus mobiliza departamento de fiscalização da Infraero**. Disponível em: <<http://rondoniaovivo.com/noticias/meio-ambiente-fumaca-de-deposito-clandestino-de-pneus-mobiliza-departamento-de-fiscalizacao-da-infraero-fotos-e-video/73474>> Acesso em: 21 maio 2017.

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

SANTOS. E. A., BORJA, E. V. **Investigação Experimental de Traços para Blocos de Concreto para Alvenaria de Vedação com Adição de Resíduos de Pneus Reciclados**. Artigo (Graduação) – CEFET, Rio Grande do Norte, 2005.

SCHAEFER, V.; WANG, K.; SULEIMAN, M.; KEVERN, J. **Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates**. Final Report, Civil Engineering, Iowa State University, 2006.

Setor Reciclagem. **O aço dos pneus**. Disponível em: <<http://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-metal/o-giro-do-aco/>> Acesso em: 25 maio 2017.

SILVEIRA, A. L. L, **DRENAGEM URBANA**. 2002. Instituto de Pesquisas Hidráulicas Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SULEIMAN, M. T.; KEVERN, J.; SCHAEFER, V. R.; WANG, K. **Effect of Compaction Energy on Pervious Concrete Properties**, Proceedings of Concrete Technology Forum: Focus on Pervious Concrete, Nashville, TN, May 24-25, 2006.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. **Pervious Concrete Pavements**. EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, p. 36, 2004.

TOUTANJI, H. A. The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates. **Cement & Concrete Composites** 18. P. 135-139, 1996.

TUCCI, C. E. M.; **Parâmetros dos Hidrogramas Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 8, n.2, p. 195-199, 2003.

Vias Seguras. O pneu, composição e estrutura. Disponível em: <http://www.vias-seguras.com/layout/set/print/veiculos/pneumaticos/manual_twi_informacoes_tecnicas_sobre_pneus/o_pneu_composicao_e_estrutura> Acesso em: 21 maio 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO PERMEÁVEL CONVENCIONAL



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Convencional - CP 01

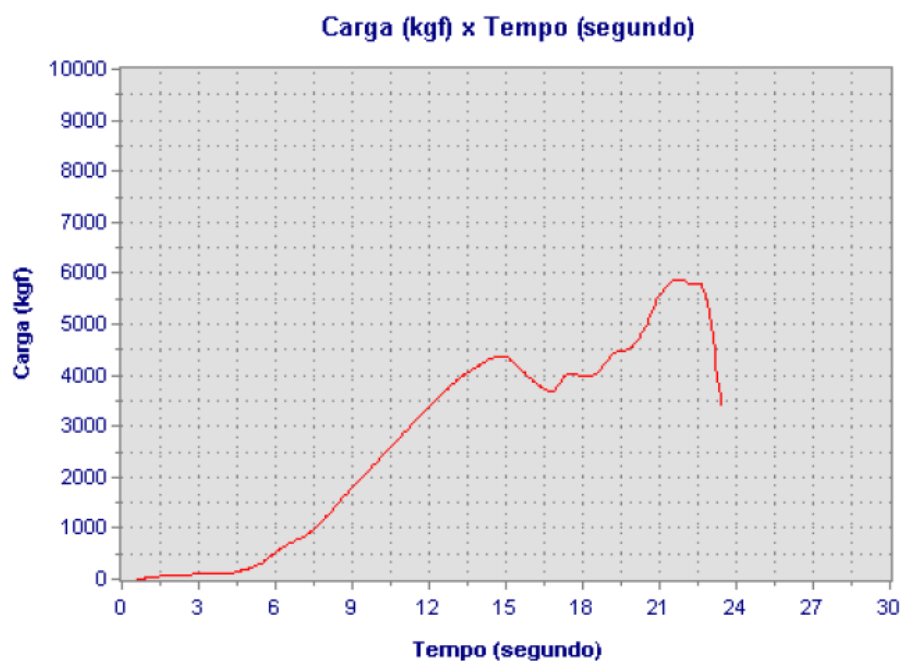
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Lukas
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 26/08/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 5.880
Tensão máxima (MPa): 7,3
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Convencional - CP 02

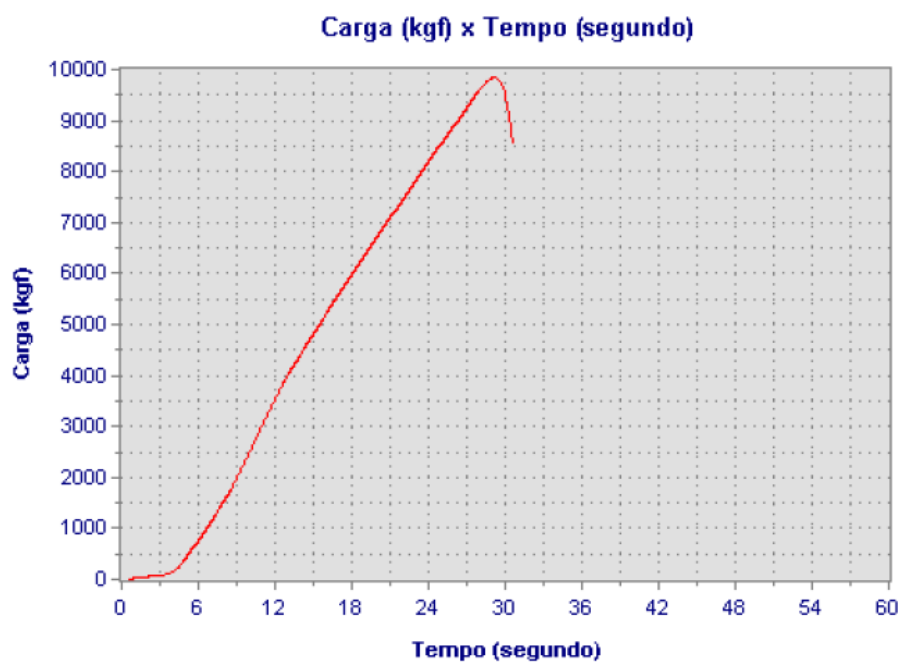
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 26/08/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 9.850
 Tensão máxima (MPa): 12,3
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Convencional - CP 03

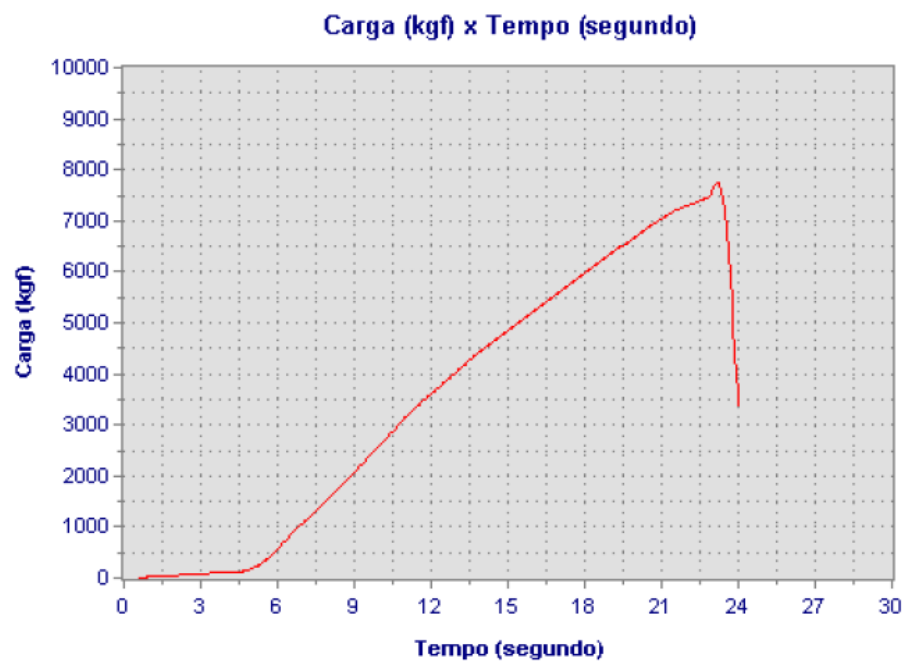
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Lukas
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 26/08/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 7.460
Tensão máxima (MPa): 9,3
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Convencional - CP 04

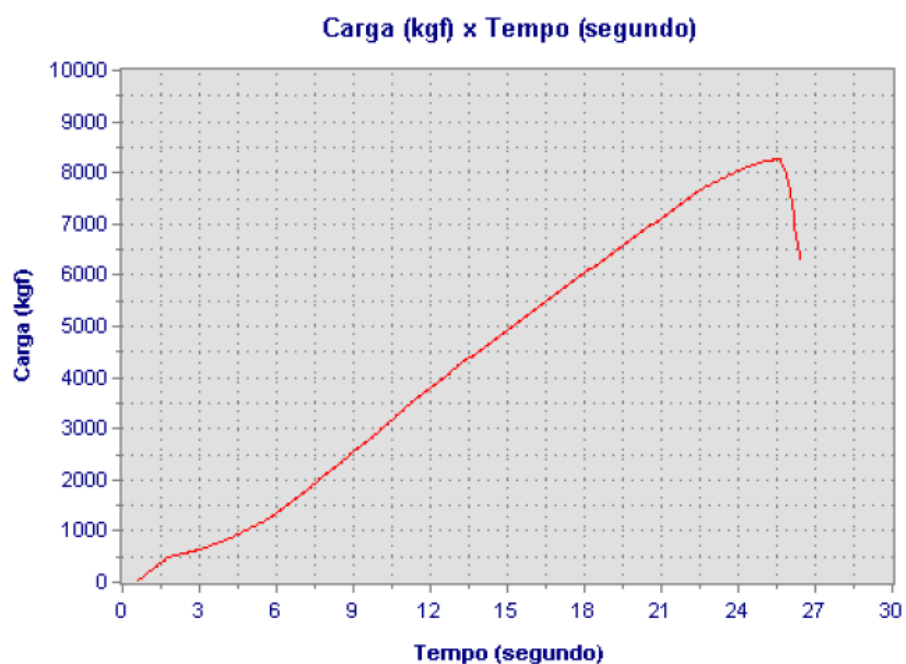
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 26/08/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 8.240
 Tensão máxima (MPa): 10,3
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Convencional - CP 05

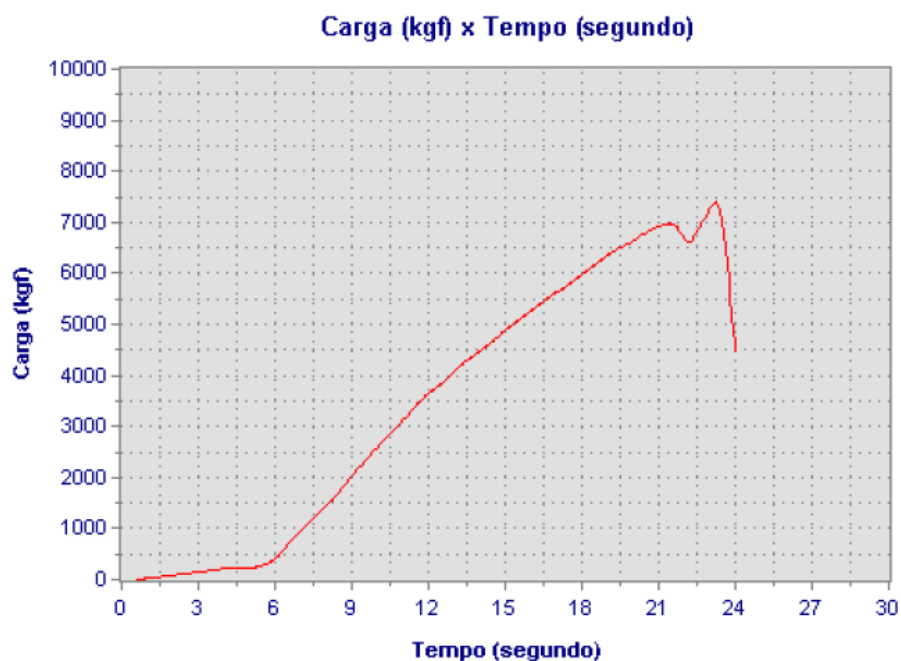
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 26/08/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 7.230
 Tensão máxima (MPa): 9,0
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Convencional - CP 06

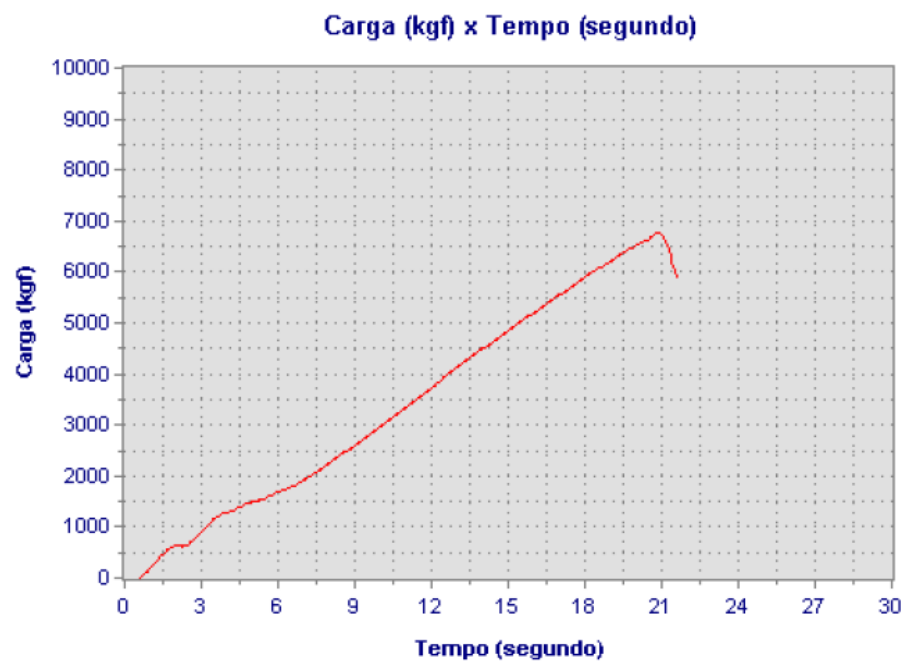
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 26/08/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 6.720
 Tensão máxima (MPa): 8,4
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



APÊNDICE B

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO PERMEÁVEL COM
ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS

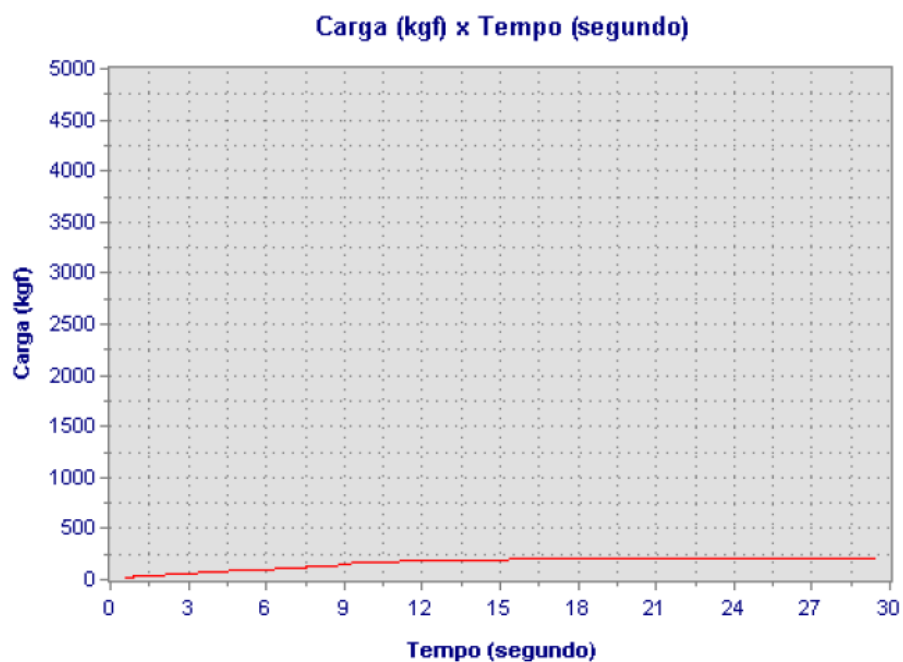
NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos
Corpo de Prova - Borracha - CP 01

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Lukas
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 13/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 210
Tensão máxima (MPa): 0,3
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Borracha - CP 02

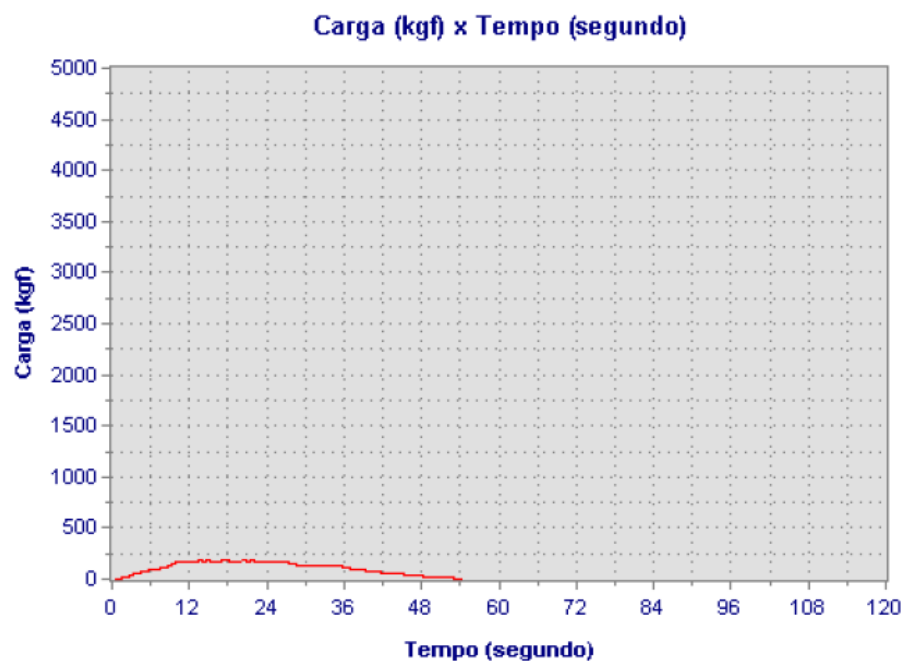
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 13/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 180
 Tensão máxima (MPa): 0,2
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Borracha - CP 03

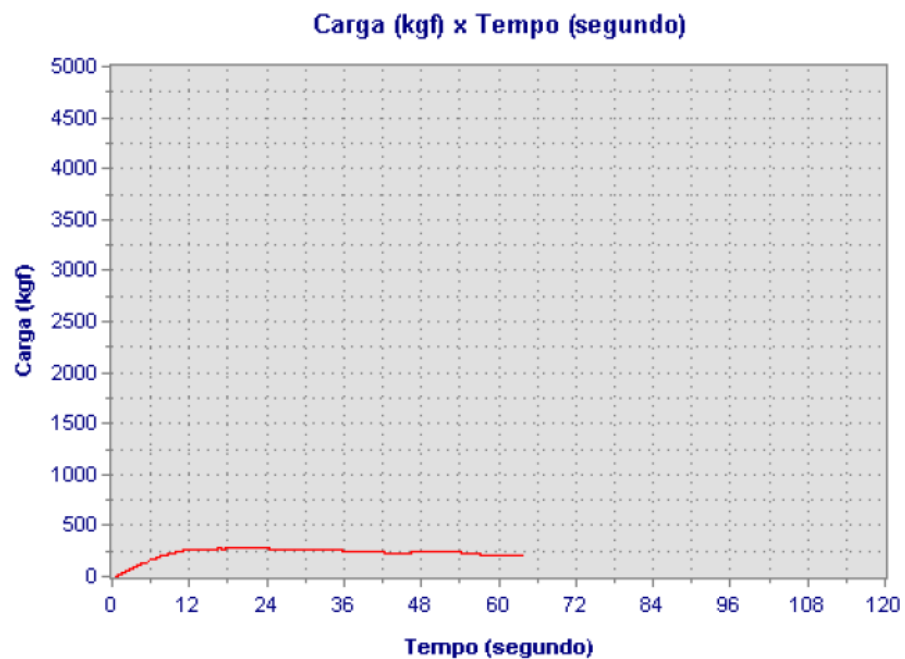
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 13/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 280
 Tensão máxima (MPa): 0,3
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Borracha - CP 04

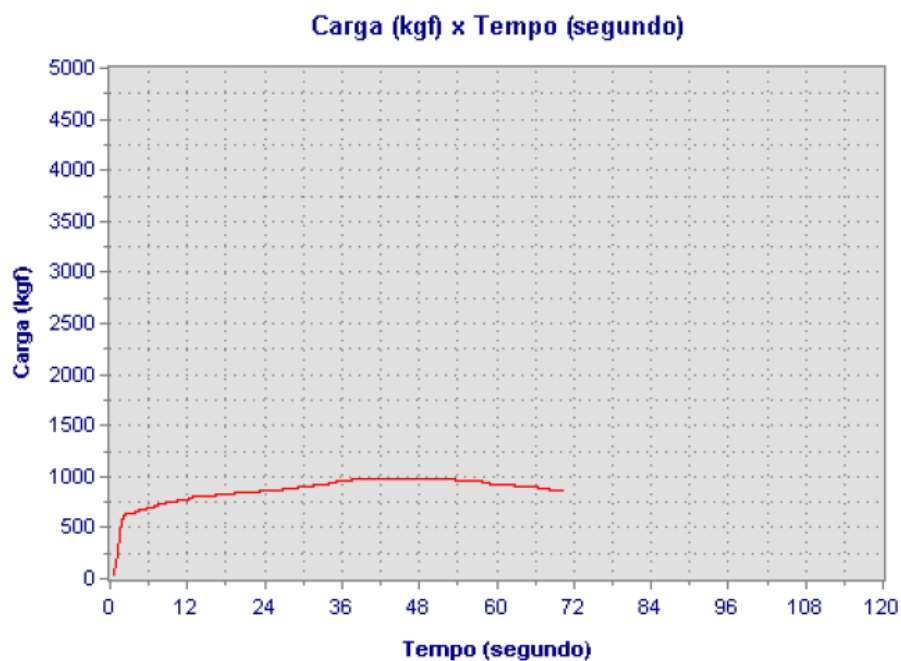
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 13/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 980
 Tensão máxima (MPa): 1,2
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Borracha - CP 05

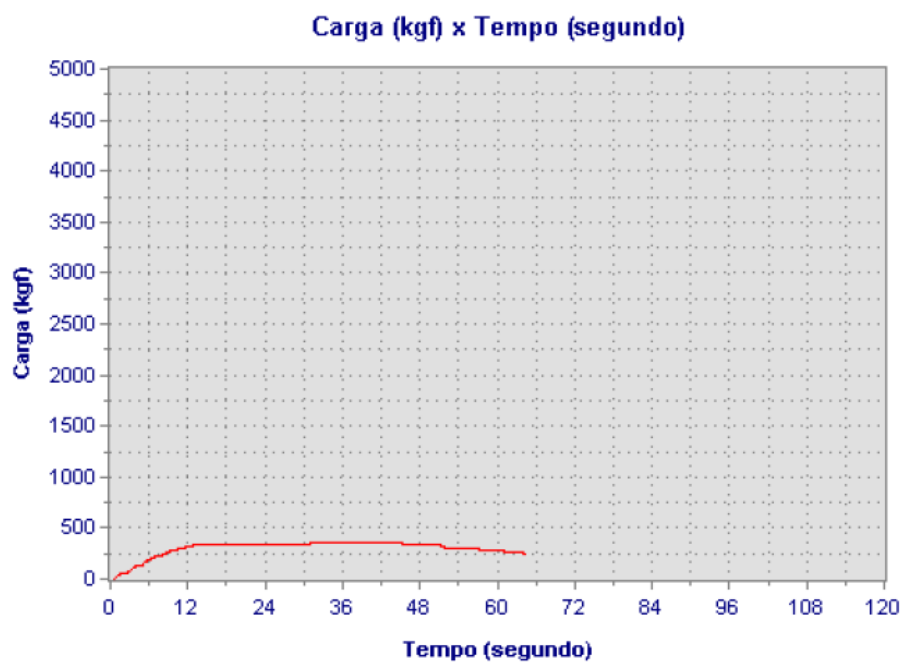
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 13/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 350
 Tensão máxima (MPa): 0,4
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado

Corpo de Prova - Borracha - CP 06

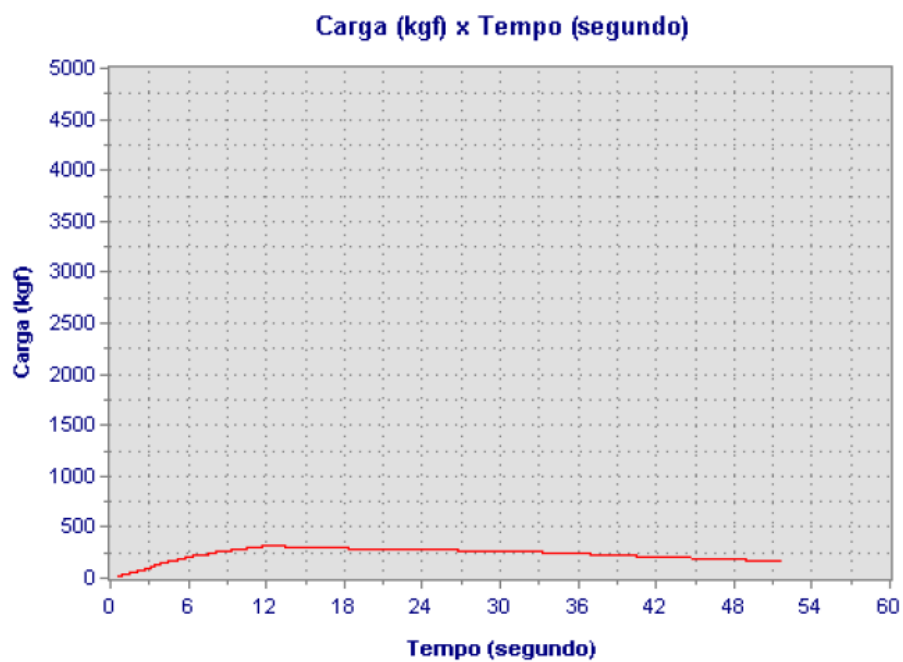
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Lukas
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Lukas
 Responsável: Wesley
 Data de Moldagem: 13/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 320
 Tensão máxima (MPa): 0,4
 Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



APÊNDICE C

ENSAIO DE PERMEABILIDADE - TEMPO

Corpo de Prova	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média
CP 01	21,5	20,8	20,8	21,03
CP 02	21,1	21,6	20,9	21,2
CP 03	41,3	40,6	41,0	40,97
CP 04	38,9	39,8	39,3	39,33

ENSAIO DE PERMEABILIDADE – COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Corpo de Prova	Área 1 (mm ²)	Área 2 (mm ²)	Tempo (s)	Comprimento (mm)	Altura 1 (mm)	Altura 2 (mm)	Permeabilidade (cm/s)
CPC 01	70685,83	22500	21,03	150	70	290	1,38
CPC 02	70685,83	22500	21,2	150	70	290	1,37
CPB 01	70685,83	22500	40,97	150	70	290	0,71
CPB 02	70685,83	22500	39,33	150	70	290	0,74