

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
DANIEL ANTONIO DIAS HENZ

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO
COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS GRAÚDOS POR
AGREGADOS RECICLÁVEIS DE CLASSE A**

CASCADEL - PR
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
DANIEL ANTONIO DIAS HENZ

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO
COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS GRAUDOS POR
AGREGADOS RECICLAVEIS DE CLASSE A**

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: Engenheira Civil Mestre
Andrea Resende Souza.**

CASCADEL - PR
2017

RESUMO

A construção civil é um dos setores mais importantes do desenvolvimento econômico em praticamente todos os países, gerando muitos empregos e renda. Porém, esse setor consome uma quantidade extraordinária de recursos naturais não renováveis no seu cotidiano, causando impactos ao meio ambiente, sendo tanto pela extração da matéria-prima quanto na geração de resíduos, levando à busca por alternativas sustentáveis, a fim de diminuir o impacto causado por ela. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento do concreto quanto a suas características mecânicas, com a substituição parcial do agregado graúdo por agregados reciclados de classe A, provenientes dos entulhos gerados pela construção civil. Para este estudo foi utilizado a substituição do agregado em duas dosagens diferentes, sendo uma com 50% de agregado reciclado, e outra com 100% de agregado natural. Os rompimentos dos corpos de prova em prensa hidráulica foram feitos após o período de 28 dias de cura do concreto. Através de tabelas e gráficos foram expressos os resultados dos ensaios de massa específica, composição granulométrica, módulo de elasticidade, tração por compressão diametral e de resistência a compressão axial.

Palavras- chaves: Agregados reciclados. Concreto reciclado. Construção civil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cidade medieval.....	14
Figura 2: Exploração de basalto.....	15
Figura 3: Resíduos da construção civil e demolição (RCD)	16
Figura 4: Lançamento do concreto e com a utilização de armaduras.....	18
Figura 5: Agregados reciclados.....	20
Figura 6: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	24
Figura 7: Ensaio de resistência à compressão axial.....	25
Figura 8: Ensaio de abatimento (<i>slump test</i>).....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Granulometria do agregado graúdo natural e reciclado.....	26
Tabela 2: Resultado do ensaio de compressão axial.....	28
Tabela 3: Resultado do ensaio de tração por compressão diametral.....	29

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 Resultado do ensaio de compressão axial.....	28
Gráfico 2: Resultado do ensaio de tração por compressão diametral.....	29

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1.....	9
1.1	INTRODUÇÃO	9
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1	Objetivo geral.....	10
1.2.2	Objetivos específicos.....	10
1.3	JUSTIFICATIVA.....	11
1.4	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	11
1.5	FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	11
1.6	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
2	CAPÍTULO 2.....	13
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.1	Evolução da construção civil	13
2.1.2	Exploração dos recursos naturais para o setor da construção civil	14
2.1.3	Resíduos da Construção Civil	16
2.1.4	Características mecânicas do concreto	17
2.1.5	Características dos agregados graúdos	18
3	CAPÍTULO 3.....	20
3.1	METODOLOGIA	20
3.1.1	Agregados	20
3.1.2	Caracterização da amostra	21
3.1.3	Dosagens.....	21
3.1.4	Tipos de ensaios	22
3.1.4.1	Composição granulométrica do agregado reciclado	22
3.1.4.2	Análise da consistência do concreto.....	22
3.1.4.3	Determinação da massa específica do concreto	23
3.1.4.4	Determinação do módulo de elasticidade	23
3.1.4.5	Resistência à tração por compressão diametral.....	24
3.1.4.6	Resistência à compressão axial	24
3.1.5	Análise dos Dados.....	25
4	CAPÍTULO 4.....	26
4.1	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26

4.1.1	Composição granulométrica dos concretos	26
4.1.2	Ensaio de abatimento.....	27
4.1.3	Resistência à compressão axial	27
4.1.4	Resistência à tração por compressão diametral	29
5	CAPÍTULO 5.....	30
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
6	CAPÍTULO 6.....	31
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	31
	REFERÊNCIAS.....	32
	APÊNDICE A – ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL	33
	APÊNDICE B – ENSAIOS DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	39

1 CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

A construção civil é e sempre foi um indicativo de desenvolvimento social e econômico, porém a mesma acaba gerando em seu processo uma elevada quantidade de resíduos sólidos que, muitas vezes, se tornam um problema para ser administrado, causando impacto ambiental, sendo pela extração dos recursos naturais ou pelo descarte dos resíduos gerados. Segundo Pinto (1999), em cidades brasileiras de médio e grande porte, os resíduos originados de construções e demolições representam de 40 a 70% de todos os sólidos nas cidades brasileiras, cujo destino incorreto traz prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) nº 307, Art. 2º Inciso I:

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

Quando esses resíduos não têm uma destinação adequada, são despejados de forma irregular em terrenos baldios, margens de rios e áreas de preservação, causando problemas de saúde pública e ao meio ambiente, pois algumas vezes carregam consigo materiais químicos, tóxicos e orgânicos. Com base nesses fatores, a reciclagem dos resíduos derivados da construção civil se mostra uma alternativa para a diminuição da exploração dos agregados naturais e reduzir parte da grande quantidade de resíduos descartados, como não tendo nenhuma utilização.

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 2002) nº 307, Art. 2º Inciso IV:

Agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

Os resíduos da construção civil são divididos em 4 classes, sendo elas classe A (concretos, alvenarias, argamassa e solos), classe B (plástico, metais, madeiras, papelão), classe C (resíduos não recicláveis) e classe D (resíduos perigosos).

Uma das dificuldades para a utilização dos agregados reciclados é sua grande variabilidade. Pelo fato de as tecnologias para controle de qualidade serem muito sistemáticas, no Brasil ainda é pouco utilizada, sendo empregada principalmente em pavimentação (VIEIRA e MOLIN, 2004).

Chen *et al.* (2003) desenvolveram um estudo de concretos com agregados reciclados de tijolos e concretos, utilizando os agregados reciclados em lotes separados de agregados graúdos reciclados, lavados e não lavados.

Os resultados apresentados mostraram que os concretos reciclados, obtidos através dos agregados lavados, obtiveram resistência à compressão e flexão em torno de 90% dos concretos de referência. Em relação aos agregados reciclados, não lavados não passaram de 75%.

Este estudo teve como objetivo avaliar as características mecânicas do concreto com a adição de agregados reciclados provenientes dos RCD (Resíduos da Construção Civil e Demolição), quanto a resistência a compressão axial, tração por compressão diametral, composição granulométrica, massa específica e módulo de elasticidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento mecânico do concreto produzido com substituição parcial do agregado graúdo natural por agregado reciclado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar os resultados de resistência à compressão de diferentes traços;
- Verificar a influência dos agregados na consistência dos concretos;
- Comparar as propriedades no estado fresco e endurecido para os diferentes concretos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo Pinto (1999), nas cidades brasileiras o RCD representa de 41 a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (RSU). Para Cabral (2006), o RCD constitui uma importante parcela do RSU, correspondendo em torno de 50%, enquanto que para Silva e Fernandes (2011), em alguns municípios, representa 60% do montante de RSU.

Os resíduos gerados na construção civil representam praticamente metade dos resíduos sólidos gerados no país, o que se torna um problema de logística para a destinação correta desses resíduos, que geram transtornos para a sociedade.

Dar um destino adequado para os resíduos e ao mesmo tempo reutilizá-los como matéria-prima para a produção do concreto utilizado no mesmo setor, só terá efeitos positivos, visando combater o impacto que esses resíduos causam no meio ambiente, sendo este, o intuito deste trabalho.

A reutilização desses resíduos na produção do concreto, se conseguir manter próximas as características de resistência do concreto comum, poderá se tornar usual para execução de pequenas obras, dando assim, um destino correto para esses agregados provenientes dos RCD.

Uma das dificuldades para se utilizar os agregados reciclados para a produção do concreto é de que há uma grande variabilidade e heterogeneidade de componentes presentes nos RCD, outra se dá pelo fato de que os agregados reciclados não podem ser utilizados para a produção de qualquer concreto (VIEIRA e MOLIN, 2004).

Com a utilização dos agregados provenientes dos RCD na elaboração do concreto a sociedade se beneficiará pelo fato de dar um destino adequado para os resíduos que a construção civil gera, que quando mal descartados podem vir a causar problemas ambientais.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O concreto produzido com a adição de agregados graúdos reciclados consegue manter as características mecânicas de um concreto com agregados naturais?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Os resultados obtidos através dos ensaios demonstraram que as características mecânicas

do concreto com agregados reciclados se mantiveram aproximadas às características do concreto elaborado com agregados naturais.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O estudo abordou a viabilidade da utilização dos agregados reciclados na produção do concreto, buscando manter as características mecânicas, principalmente, quanto à resistência, analisando o comportamento dos corpos de provas quando rompidos em prensa hidráulica para os ensaios de resistência a compressão axial, tração por compressão diametral, composição granulométrica, massa específica e módulo de elasticidade.

Para o estudo foram utilizados apenas resíduos de classe A, fornecidos pela empresa Lapa Entulhos, a qual é uma das empresas que faz a coleta, reciclagem e comercialização dos resíduos da construção civil em Cascavel, Paraná.

O traço escolhido para o estudo foi de proporção de 1:1,84:2:0,5, sendo produzido 18 corpos de prova com dimensões conhecidas. Foram elaborados 2 tipos de dosagens, sendo uma com 100% do agregado gráúdo natural, este usado como referência e outra dosagem com substituição do agregado natural de 50%, por agregado reciclado.

O trabalho foi realizado nas dependências do laboratório de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz.

Os rompimentos dos corpos de prova em prensa hidráulica foram feitos após o período de 28 dias de cura do concreto. Através de tabelas e gráficos, foram expressos os resultados dos ensaios de massa específica, composição granulométrica, módulo de elasticidade, tração por compressão diametral e de resistência à compressão axial.

2 CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Evolução da construção civil

Pode-se dizer que a importância da construção civil é indiscutível, por se tratar de uma necessidade básica para todos, partindo desse princípio, a construção surge desde a era pré-histórica, quando se elaborou as primeiras construções humanas.

Antes que alcançasse o desenvolvimento que tem hoje, foi preciso que a engenharia civil percorresse um longo trajeto de seis mil anos desde que o homem deixou as cavernas e começou a pensar numa moradia mais segura e confortável. Já os templos, os palácios e os canais, que foram marca registrada na Antiguidade, começaram a fazer parte da paisagem cerca de dois mil anos depois do aparecimento das primeiras habitações familiares (RIELI, 2012).

Desde a antiguidade o ser humano percebeu a necessidade de se construir abrigos para sua proteção contra animais perigosos, como para se proteger das atividades climáticas. Posteriormente se fez necessário a proteção contra os próprios humanos, devido aos conflitos entre os povos, a partir disso se tornou necessário cada vez mais uma evolução dos modelos construtivos e das tecnologias aplicadas.

No início das civilizações a distribuição das cidades eram feitas de forma irregular, ao passar dos anos o ser humano foi aprimorando seus conhecimentos relacionados à construção, e começou a fazer melhor uso de seu espaço e de seus materiais, consequentemente, melhorou suas tecnologias de execução. Na Figura 1, tem-se uma cidade medieval, uma das primeiras formas de organização das cidades que o homem desenvolveu.

Figura 1 - Cidade Medieval



Fonte: Imagens viagens (2017)

Por mais que houvesse um amadurecimento do conhecimento quanto à construção civil ao decorrer dos anos, somente após a Segunda Revolução Industrial, no século XIX, que os métodos de construção e organização dos processos construtivos se tornaram essenciais para o bom funcionamento das cidades.

A preocupação com a forma de organização do trabalho e a moldagem das atividades foi praticamente refeita após a chegada das máquinas. E, por conseguinte, ocasionou o aparecimento de novas carreiras, de maneira que o termo engenheiro foi ampliado, em concordância com o surgimento das especializações (AFONSO e FLEURY, 2012).

Com o crescimento desenfreado da construção civil, alguns fatores se tornaram problemas para a logística do setor, um deles foi e ainda é a grande produção de resíduos provenientes dessas construções.

2.1.2 Exploração dos recursos naturais para o setor da construção civil

Segundo Duarte e Bueno (2006), os ecossistemas podem ser levados a um estado de perturbação devido às ações antrópicas, ou seja, uma área pode sofrer certo distúrbio e, ainda, manter a possibilidade de se regenerar em condições naturais ou se estabilizar em

outras condições estáveis. Porém, o ambiente nem sempre consegue se recuperar, desta forma, a área se torna degradada. Áreas degradadas são “aquelas que não possuem mais a capacidade de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa e estoque de propágulos” (BROWN e LUGO, 1994). Na Figura 2 tem-se um exemplo de exploração do basalto utilizado na produção dos agregados para a construção civil.

Figura 2 - Exploração de basalto



Fonte: BMS britamil (2017)

Pode-se dizer que os principais materiais utilizados dentro da construção civil são provindos da natureza e a maior parte deles não são renováveis, é evidente que o setor utiliza uma quantidade exorbitante desses materiais e que as explorações desses materiais acabam provocando grande impacto ambiental. Desta forma, deve ser feito algo a respeito para que as gerações futuras possam desfrutar desse maravilhoso planeta, assim como se tem a oportunidade de aproveitá-lo no momento. Segundo SJÖSTRÖM (1992), estima-se que entre 20 e 50% de todos os recursos naturais consumidos pela sociedade são utilizados na construção civil.

Quando se trata dos recursos minerais, a extração tem gerado um conjunto de efeitos indesejáveis que podem ser denominados externalidades (BITAR, 1997). Além disso, o setor minerário é um dos maiores usuários de energia, o que contribui para a poluição do ar e o aquecimento global (BRASIL, 2007).

2.1.3 Resíduos da Construção Civil

Dentre os maiores causadores de impactos ambientais se encontram os RCD - resíduos da construção civil e demolição (Figura 3). Resíduos Sólidos da Construção Civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros, comumente chamados de entulhos de obras. (CONAMA, 2002).

Figura 3 - Resíduos da construção civil e demolição (RCD)



Fonte: Eco4u (2017)

Segundo Pinto (1999), os resíduos gerados pelas construções e demolições nas cidades brasileiras consideradas de médio e grande porte, representam de 40 a 70% dos sólidos gerados em todo o país, cuja destinação incorreta dos mesmos acaba gerando prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Em uma pesquisa feita em cinco cidades do interior de São Paulo, entre o período de 1995 a 1997, indicam que os RCD (Resíduos de Construção e Demolição) variaram entre 54% e 70% de todos os resíduos sólidos urbanos.

Segundo John (2000), a indústria da construção civil é um setor que se destaca na economia nacional, considerando a significativa importância no PIB do país, e pela quantidade de emprego que o setor gera. Em contrapartida, a construção civil é responsável pela emissão de 50% do CO₂ que é liberado na atmosfera e por quase metade da quantidade dos resíduos sólidos gerados no mundo todo.

Em diversos países da Europa o volume de entulho produzido pela construção civil é praticamente o dobro do lixo sólido urbano, o que acaba sendo um dos principais problemas que esses países enfrentam nas áreas urbanas (SJÖSTRÖM, 1992).

Para Souza (2004), desperdiçar os resíduos gerados pela construção civil significa desperdiçar recursos naturais, colocando-a assim, no centro das discussões que buscam a sustentabilidade na sua atuação.

Tendo o conhecimento da imensa quantidade de material que é explorado da natureza e a grande quantidade que resíduos gerados pela construção civil, se torna evidente a necessidade de alternativas para diminuir a exploração e para a destinação correta desses resíduos gerados.

Nos últimos anos, a necessidade de reciclar os entulhos da construção civil criou a possibilidade de que parte dos produtos resultantes desse processo viesse a substituir o agregado natural. Na Europa e nos Estados Unidos, a participação de produtos reciclados é ainda limitada, mas tem crescido continuamente (BALANÇO MINERAL BRASILEIRO, 2001).

2.1.4 Características mecânicas do concreto

O concreto é um material construtivo amplamente disseminado, pode ser encontrado em rodovias, edifícios, pontes, usinas hidrelétricas, casas, torres, arranha-céus, entre outros. Segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP, 2009), estima-se que são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá aproximadamente um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante, por ano, valor inferior apenas ao consumo de água.

Para que se obtenha um concreto de qualidade, este deve respeitar algumas características específicas, deve-se controlar e verificar as etapas de produção, lançamento, qualidade dos materiais, equipamentos a serem utilizados, entre outros aspectos. Um concreto de qualidade deve apresentar as resistências necessárias para cada tipo de uso e ter uma boa durabilidade depois de curado.

O concreto para fins estruturais deve ter definidas todas as características e propriedades de maneira explícita, antes do início das operações de concretagem (NBR 12655, 1995).

Nas estruturas, o concreto desempenha o papel de absorver certos tipos de carregamentos, porém o principal tipo de carregamento, o qual o concreto é resistente, é a compressão, sendo também o mais importante para seu uso, em contrapartida, sua resistência à tração é consideravelmente baixa. Porém, nas edificações em concreto não é somente esforços de compressão que são aplicadas nas estruturas, há outros esforços como os de tração. Como o concreto possui baixa resistência nesse quesito, geralmente são utilizadas armaduras de aço no interior das estruturas, como se pode observar na Figura 4, para que suporte a esses esforços, formando assim, o que é denominado concreto armado.

Figura 4 - Lançamento do concreto e com a utilização de armaduras



Fonte: Horizon Empreiteira (2017)

2.1.5 Características dos agregados graúdos

Os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo segundo o Serviço Geológico Americano (USGS – *United States Geological Survey*, 2000).

Segundo a ABNT NBR 7211, Agregado miúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas

pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Agregado graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

O agregado graúdo reciclado que foi utilizado no estudo é composto por britas, blocos cerâmicos .

3 CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Agregados

Os agregados reciclados foram fornecidos pela empresa Lapa Entulhos, sendo utilizados apenas os agregados reciclados de classe A, que segundo a resolução do CONAMA nº 307, Art. 3º:

Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obra.

Na Figura 5 têm-se os agregados de classe A utilizados nos ensaios.

Figura 5 - Agregados reciclados



Fonte: Autor (2017)

3.1.2 Caracterização da amostra

Os agregados recicláveis e naturais tiveram que passar por um processo de secagem em estufa, sendo quantificados e separados para que se obtivesse maior precisão no experimento.

Os agregados naturais graúdos (brita graduada), agregado miúdo (areia média), e o cimento CP IV – 32, foram fornecidos pela empresa TITU'S Materiais de Construção, sendo que esses materiais atendem as normas prescritas na NBR 7221/2009.

Para elaboração dos corpos de prova, foi utilizada uma betoneira mecanizada disponível no próprio laboratório de construção civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, foram elaborados 9 corpos de provas cilíndricos para cada tipo de dosagem, totalizando 18 corpos de provas, esses com dimensões de Ø10 x 20cm, sendo montados e adensados conforme a NBR 5738/2015, a princípio será utilizado como base a resistência de 25 MPA para o concreto produzido, porém será utilizado como base a resistência obtida do rompimento dos corpos de prova com dosagem de 100% de agregado natural.

Após a elaboração dos corpos de prova, os mesmos foram deixados em repouso para que ocorresse o endurecimento do concreto por um período de 24 horas, após esse período foram desmoldados e se deu início ao processo de cura por um período de 28 dias, nos quais foram molhados para que a retração sofrida pelo concreto fosse diminuída.

3.1.3 Dosagens

Buscando analisar os parâmetros de resistência do concreto sem armadura, com a substituição parcial de agregados naturais por agregados reciclados provenientes do reaproveitamento dos entulhos gerados pela construção civil, foram realizados dois tipos de misturas, sendo uma com 100% do agregado natural, esse utilizado como referência para a análise dos parâmetros de resistência, na segunda amostra foi substituído 50% do agregado natural graúdo por agregado reciclado, o traço do concreto escolhido para o experimento é de 1:1,84:2:0,5.

3.1.4 Tipos de ensaios

3.1.4.1 Composição granulométrica do agregado reciclado

A granulometria é a análise utilizada para classificar o tamanho das partículas em uma amostra e ter conhecimento da quantidade referente a cada tamanho. Para este experimento foram utilizados os procedimentos previstos na NBR NM 248/2003.

Primeiramente, a amostra passou por um processo de secagem em estufa, em seguida foi pesada e anotada a massa total do agregado, na sequência foram montados os conjuntos de peneiras, estando todas limpas, a montagem das peneiras foi realizada formando um conjunto com abertura de malha crescente, partindo da base até o topo, encaixando o fundo na base do aparelho.

A amostra foi colocada na peneira superior gradativamente, de modo que não houvesse formação de camadas que pudessem interferir na passagem dos grãos de menor dimensão, garantindo assim, maior precisão no ensaio.

Após a agitação do conjunto de peneiras feita pelo aparelho com o auxílio de uma balança de precisão, foi determinada a massa total presente em cada peneira e no fundo do conjunto, em seguida foram calculadas as porcentagens médias, acumuladas e retidas em cada peneira, determinando o módulo de finura e dimensão máxima dos agregados.

3.1.4.2 Análise da consistência do concreto

A consistência do concreto é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. O termo consistência está relacionado à mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes, e está diretamente ligado com a quantidade de água presente na mistura, consequentemente, ao se alterar a quantidade de água na mistura, se está, também, alterando as características de plasticidade e sua deformação quanto aos esforços solicitantes.

Para determinação da consistência do concreto, se fez uso do ensaio de abatimento, também conhecido como *slump test*, esse procedimento consiste em colocar uma amostra de concreto em uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente adensadas com 25 golpes cada. Em seguida, o molde foi retirado verticalmente e lentamente e, posteriormente mediu-se a diferença entre a altura da massa do concreto e a altura do molde, a diferença de altura deve

atender aos limites previstos para cada tipo de uso do concreto.

3.1.4.3 Determinação da massa específica do concreto

A massa específica é determinada pela razão da massa seca do corpo de prova pelo seu volume. Para execução desse procedimento foram utilizadas as normas contidas na NBR NM 53/2009, foram necessários 2 corpos de provas para o experimento, sendo um corpo para cada dosagem.

Primeiramente os corpos de provas foram imersos em água por um período de 24 horas, em seguida foram envolvidos por um pano absorvente até que toda a água visível fosse eliminada, ainda que a superfície se apresente úmida. Após a secagem, os corpos de provas foram pesados em balança hidrostática para que se obtivesse seu peso úmido. Em seguida, os corpos de prova foram colocados separadamente em um recipiente de arame com massa e volume conhecidos de forma que impedisse a perda de material ou retenção de ar quando submerso, após, foram imersos em um tanque de água para fazer a pesagem em água da amostra, obtendo assim, o peso imerso.

O último passo consistiu-se da secagem dos corpos de prova por 24 horas em estufa, pesando-os em seguida, obtendo então o peso seco. A massa específica foi obtida pela divisão do peso seco pela subtração do peso úmido da amostra pelo peso imerso.

3.1.4.4 Determinação do módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é definido pela curva que relaciona tensão/deformação do corpo de prova de concreto submetido a um esforço de compressão uniaxial. Esse ensaio tem como base a NBR 8522/2008.

O procedimento para determinação do módulo de elasticidade do concreto é feito a partir da utilização de extensômetros eletrônicos que fazem a medição da deformação sofrida pelo corpo de prova quando este é submetido a tensões provocadas pela prensa hidráulica. Para execução do ensaio deve-se aplicar 30% da tensão de ruptura por 60 segundos, em seguida descarregar o corpo de prova por também 60 segundos, fazendo a leitura das deformações nesses períodos, repetindo os esforços por mais 2 vezes e fazendo as devidas leituras das deformações, a partir dos resultados é elaborada a curva que relaciona a tensão

aplicada com o tempo de aplicação, obtendo, assim, através de cálculos previstos em norma, o módulo de elasticidade da amostra.

3.1.4.5 Resistência à tração por compressão diametral

Os corpos de prova foram montados e curados conforme NBR 7215 e NBR 5738. Para a realização do experimento foram seguidas as orientações da NBR 7222/2011.

Primeiramente, o corpo de prova foi colocado de modo que ficasse em repouso ao longo de uma geratriz sobre a prensa hidráulica, foram colocadas taliscas de madeira entre os pratos do aparelho, conforme é especificado na NBR 10024, com comprimento igual à geratriz do corpo de prova.

A carga de compressão foi aplicada no corpo de prova de forma contínua até que ocorresse a ruptura do mesmo por tração indireta, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autor (2017)

3.1.4.6 Resistência à compressão axial

Na maior parte das estruturas utilizadas nas construções o concreto está submetido a

tensões de compressão, sendo assim, os esforços axiais se tornam os mais importantes para a garantia de um concreto de qualidade. A norma vigente para esse tipo de ensaio é a NBR 5739/2007.

O procedimento do ensaio se dá pela aplicação de uma força axial de compressão feita por prensa hidráulica no corpo de prova até seu rompimento. Para melhor distribuição da carga, as superfícies inferiores e superiores do corpo de prova devem conter revestimento e devem estar devidamente centralizados no aparelho para que se obtenha maior precisão no ensaio, conforme Figura 7.

Figura 7 - Ensaio de compressão axial



Fonte: Autor (2017)

3.1.5 Análise dos Dados

Após a coleta de dados obtidos nos ensaios, os mesmos foram relacionados através de tabelas e gráficos, fazendo uma análise dos resultados obtidos.

4 CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios mecânicos mencionados na metodologia, permitindo avaliar as propriedades de resistência do concreto composto com adição de agregados graúdos reciclados da construção civil em substituição parcial da brita graduada.

4.1.1 Composição granulométrica dos concretos

Na composição granulométrica, em ambos os agregados não houve variação quanto ao diâmetro, sendo um diâmetro máximo de 12,5mm. Porém o agregado graúdo reciclado apresentou módulo de finura 3,22% menor que o módulo do agregado natural, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Granulometria do agregado graúdo natural e reciclado

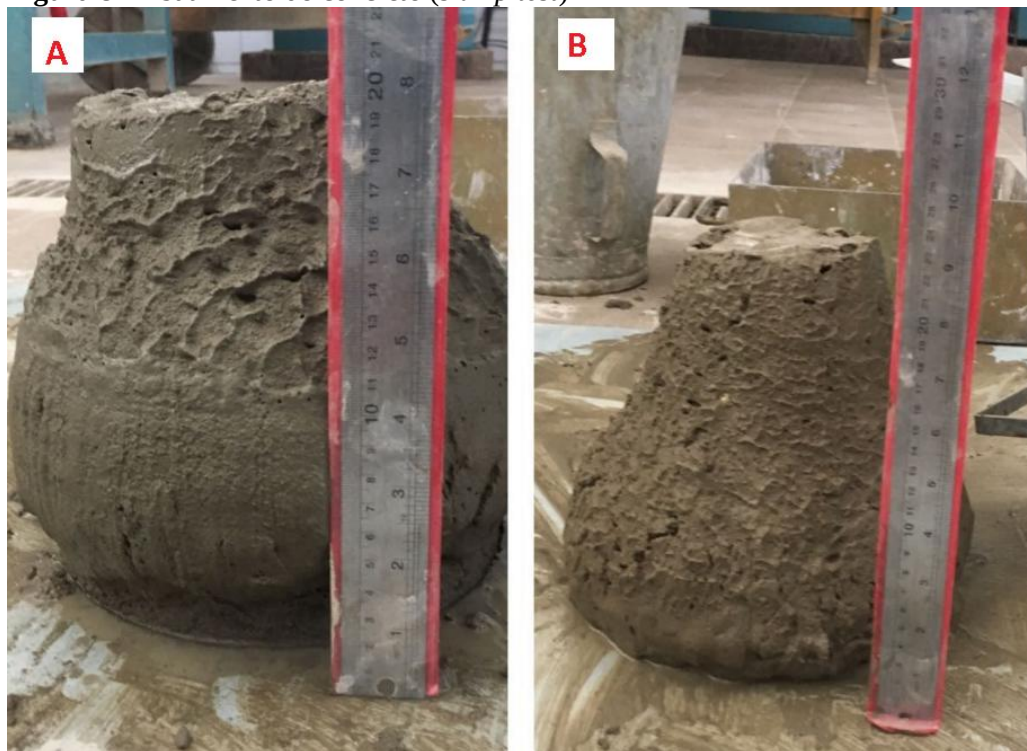
Agregado graúdo natural			Agregado graúdo reciclado		
Peneiras (mm)	% Retido	% Retido acumulado	Peneiras (mm)	% Retido	% Retido acumulado
19	1,6	1,6	19	0,7	0,7
12,5	45,1	46,7	12,5	50,3	50,7
9,5	37,0	83,7	9,5	32,0	82,7
6,3	15,5	99,2	6,3	14,5	97,2
4,8	0,3	99,5	4,8	0,1	97,3
<4,8	0,4	100,0	<4,8	2,7	100,0
dimensão máxima (mm)	19		dimensão máxima (mm)	19	
Módulo de finura	6,83		Módulo de finura	6,61	
Classificação (NBR 7211-2011)	Brita 1		Classificação (NBR 7211-2011)	Brita 1	

Fonte: Autor (2017)

4.1.2 Ensaio de abatimento

Na amostra A - concreto com agregado natural obteve-se um abatimento de 10 cm, já a amostra B, composta por agregado reciclado, apresentou um abatimento de 7 cm, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Abatimento do concreto (*slump test*)



Fonte: Autor (2017)

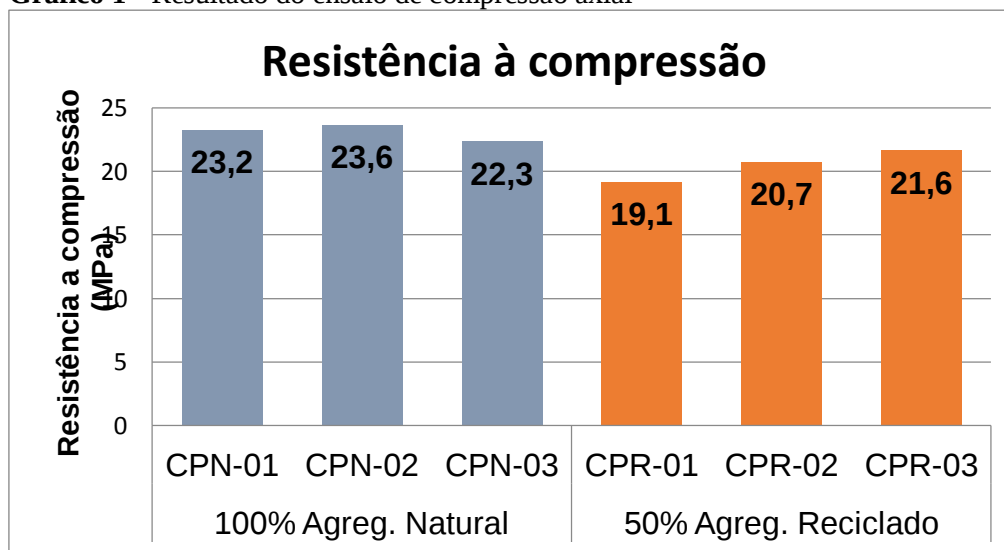
4.1.3 Resistência à compressão axial

Seguindo de acordo com a metodologia proposta no Capítulo 3, foram desenvolvidos corpos de prova com seus respectivos traços, os dados coletados nos ensaios de compressão axial estão descritos na Tabela 2 e pode ser visualizado no Gráfico 1.

Tabela 2 - Resultado do ensaio de compressão axial

Resultado do rompimento dos corpos de prova		
Traço do CP	Amostra	Compressão 28 dias (MPa)
100% Agreg. Natural	CPN-01	23,2
	CPN-02	23,6
	CPN-03	22,3
50% Agreg. Reciclado	CPR-01	19,1
	CPR-02	20,7
	CPR-03	21,6
100% Nat.	Média:	23,03
50% Rec.	Média:	20,47

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 1 - Resultado do ensaio de compressão axial

Fonte: Autor (2017)

Ao analisar os dados coletados, tomando como referência o resultado obtido do corpo de prova padrão no ensaio de resistência a compressão, a média foi de 23,03 MPa, enquanto no corpo de prova utilizando 50% de agregado graúdo reciclado alcançou a resistência de 20,47 Mpa, sendo que ambos os concretos possuem o mesmo traço, logo possuem o mesmo fator água/cimento de 0,50, o qual é determinante para a resistência do concreto.

Sendo assim, é possível determinar que esta diferença de resistência de 11,11%, ocorreu por conta do agregado graúdo reciclado. Segundo Vieira (2003), em sua pesquisa observa-se que a resistência à compressão passa a diminuir quando há uma substituição a partir de 50% dos agregados naturais pelos agregados graúdos reciclados.

4.1.4 Resistência à tração por compressão diametral

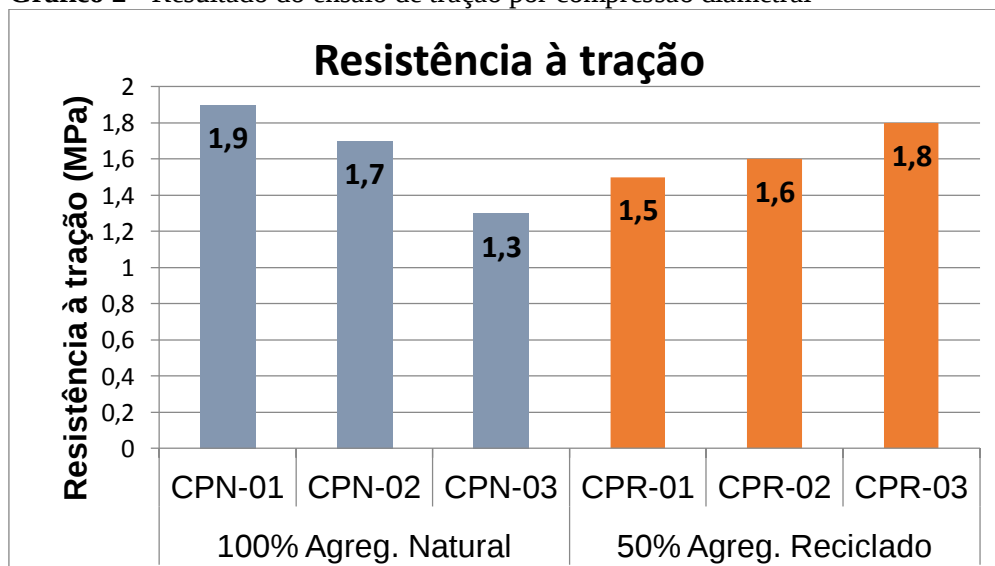
Ao analisar os dados da Tabela 3 e Gráfico 2, nota-se que a média da resistência à tração por compressão diametral foi igual em ambos os concretos, fato devido à que o corpo de prova CPN-03 deu uma resistência menor em relação aos outros corpos de prova padrões.

Tabela 3 - Resultado do ensaio de tração por compressão diametral

Resultado do rompimento dos corpos de prova		
Traço do CP	Amostra	Tração 28 dias (MPa)
100% Agreg. Natural	CPN-01	1,9
	CPN-02	1,7
	CPN-03	1,3
50% Agreg. Reciclado	CPR-01	1,5
	CPR-02	1,6
	CPR-03	1,8
100% Nat.	Média:	1,63
50% Rec.	Média:	1,63

Fonte: Autor (2017)

Gráfico 2 - Resultado do ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autor (2017)

5 CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa o objetivo foi avaliar o comportamento mecânico do concreto produzido com substituição parcial do agregado graúdo natural por agregado reciclado, visando comparar as resistências dos corpos de prova.

Através dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, o concreto reciclado apresentou uma resistência 11,11% menor que em relação ao concreto com agregado natural. Já no ensaio de resistência a tração por compressão diametral não constou diferença na resistência, sendo que em ambos a relação de água/cimento é de 0,5.

Pelos resultados alcançados de resistência é possível dizer que seria possível a utilização de agregados reciclados na construção civil, fazendo assim uma destinação mais adequada dos resíduos gerados pela atividade.

Vale ressaltar quando se trata de concretos que incorporam agregados reciclados da construção civil, não é possível generalizar os resultados obtidos pela pesquisa feita pelo o meio acadêmico, pois existem diversas metodologias e diferenças entre os agregados utilizados.

6 CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No sentido de contribuir para o aumento científico sobre o assunto abordado neste estudo, fica como sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar o estudo com diferentes relações água/cimento e teores de substituição de agregados naturais por agregados reciclados;
- Ampliar o estudo para vigas de concreto armado, realizando ensaios de deformação, flexão e fissuração;
- Realizar um estudo sobre a viabilidade de se utilizar o concreto reciclado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto – especificações.** Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade a compressão.** Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão.** Rio de Janeiro, 1996.
- _____. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 10024: Chapa dura de fibra de madeira – Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NORMAS MERCOSUL – ABNT NM. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação.** Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 307** - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, 2002.
- VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

APÊNDICE A – ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL

NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CPN - Cp 01

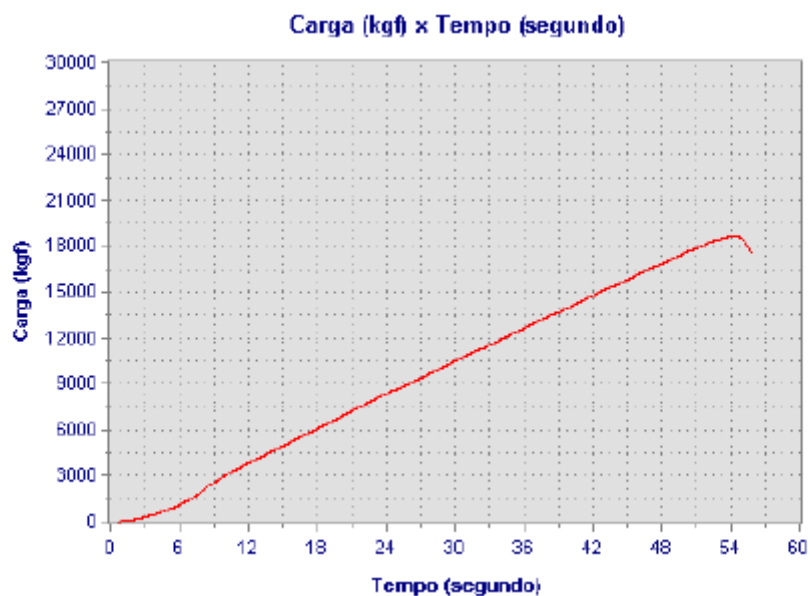
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 18.620
Tensão máxima (MPa): 23,2
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CPN - Cp 02

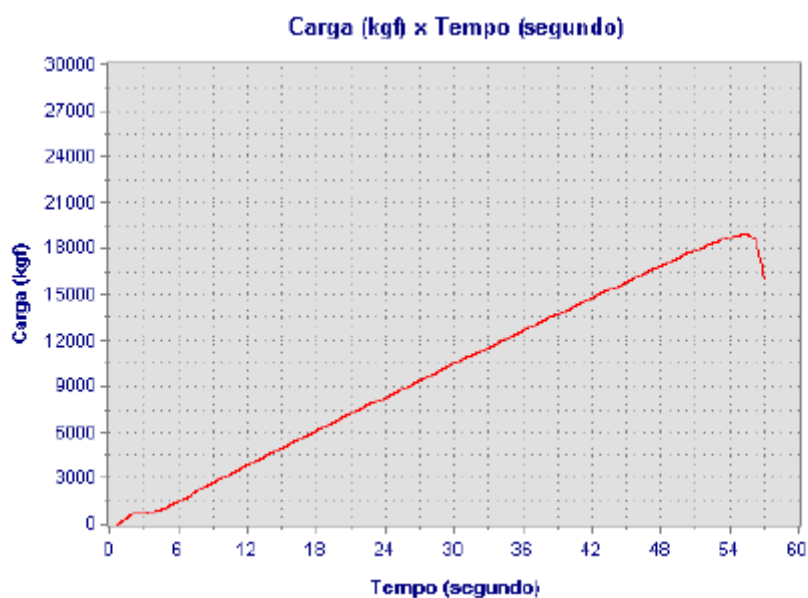
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 18.910
Tensão máxima (MPa): 23,6
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CPN - Cp 03

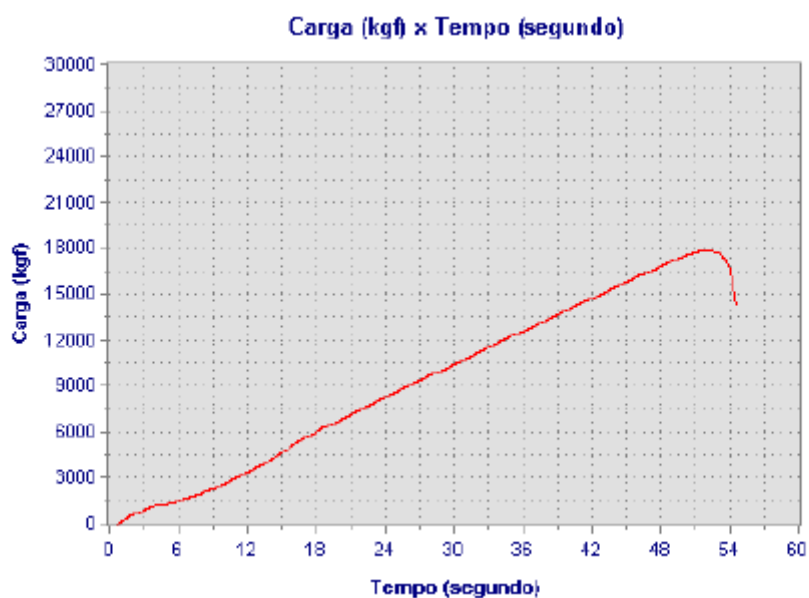
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 17.850
Tensão máxima (MPa): 22,3
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



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

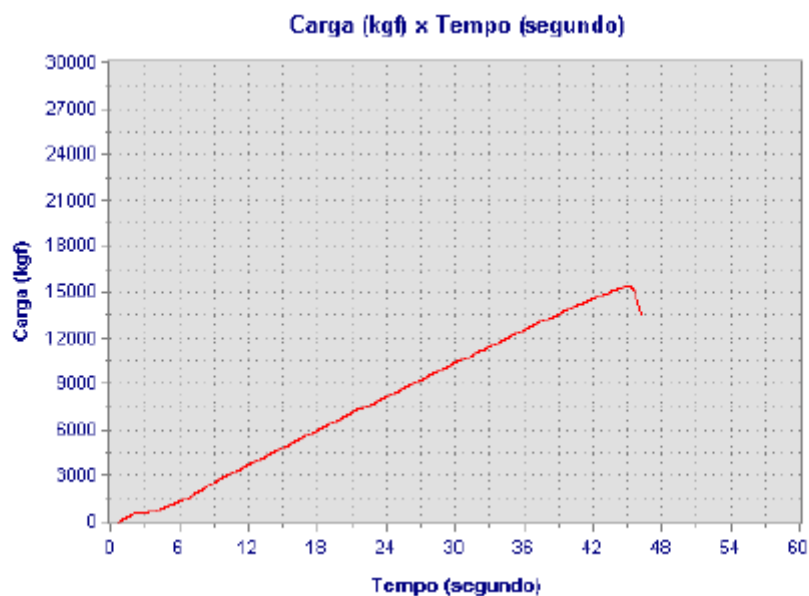
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 15.300
Tensão máxima (MPa): 19,1
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - CPR - CP 02

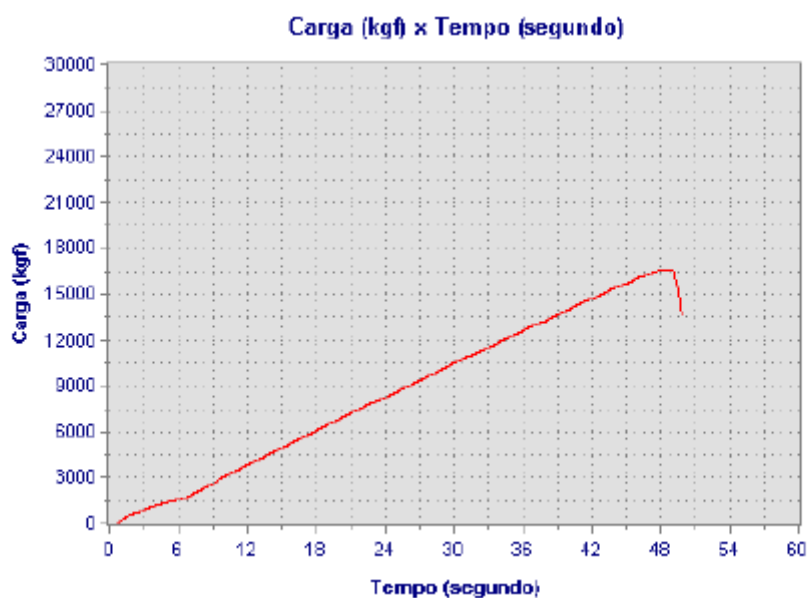
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 16.560
Tensão máxima (MPa): 20,7
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



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

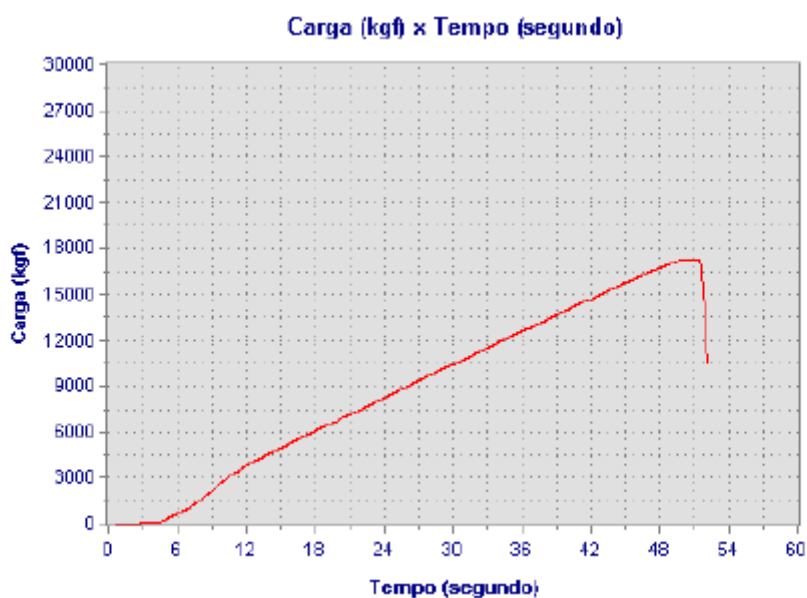
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 17.310
Tensão máxima (MPa): 21,6
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



APÊNDICE B – ENSAIOS DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

NBR 7222 - Determinação da resist. à tração por compressão diametral de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Diametral CPN - CP 01

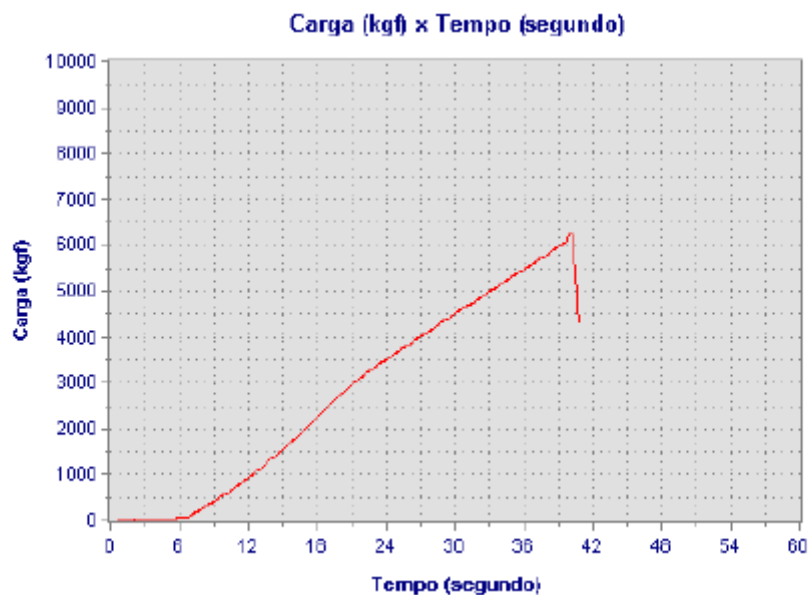
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 6.150
Tensão máxima (MPa): 1,9
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



NBR 7222 - Determinação da resist. à tração por compressão diametral de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Diametral CPN - CP 02

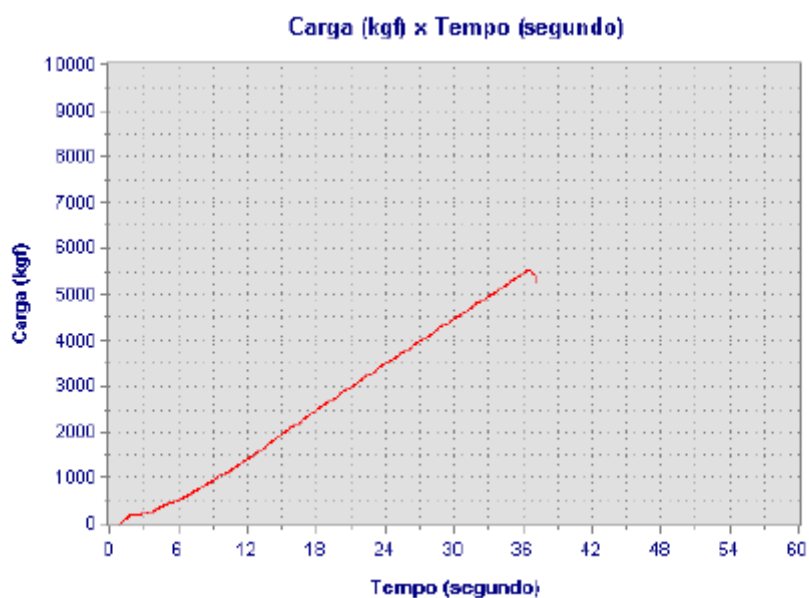
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 5.590
Tensão máxima (MPa): 1,7
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



NBR 7222 - Determinação da resist. à tração por compressão diametral de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Diametral CPN - CP 03

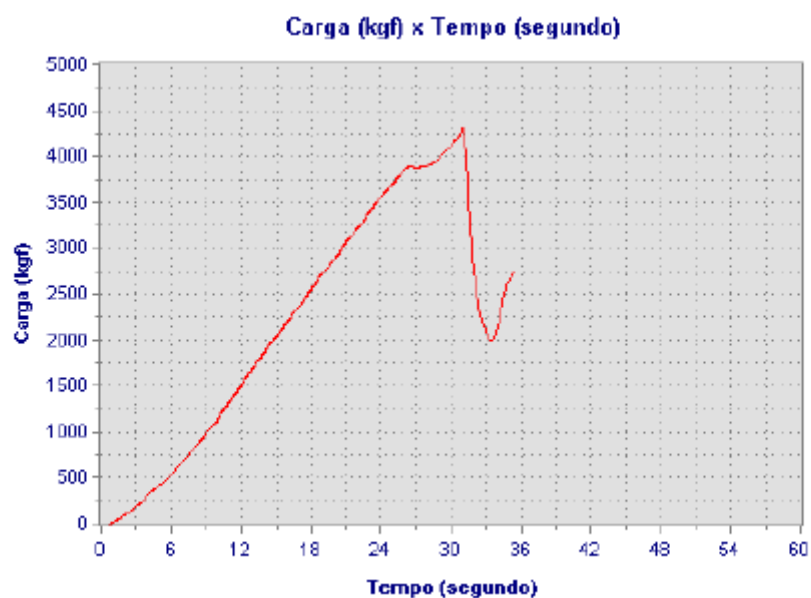
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 4.230
Tensão máxima (MPa): 1,3
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



NBR 7222 - Determinação da resist. à tração por compressão diametral de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Diametral CPR - CP 01

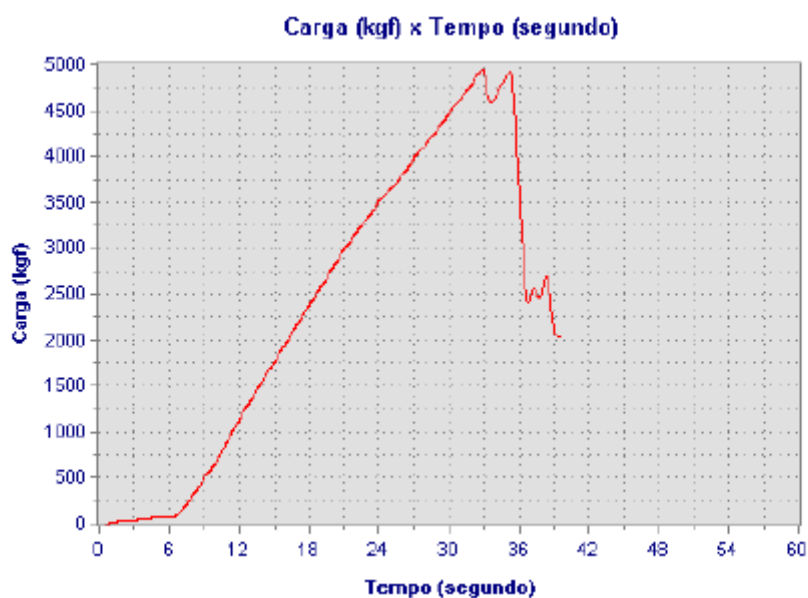
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 4.920
Tensão máxima (MPa): 1,5
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



NBR 7222 - Determinação da resist. à tração por compressão diametral de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Diametral CPR - CP 02

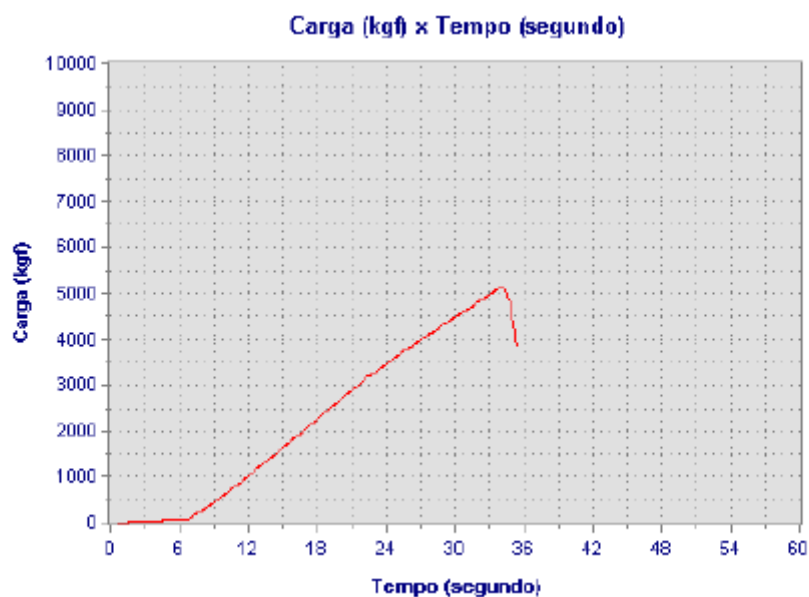
Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 5.130
Tensão máxima (MPa): 1,6
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado



NBR 7222 - Determinação da resist. à tração por compressão diametral de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Diametral CPR - CP 03

Dados Cadastrais

Amostra: TCC Daniel
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente: Daniel
Responsável: Wesley
Data de Moldagem: 22/09/2017

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 5.910
Tensão máxima (MPa): 1,8
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado

