

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE PNEU TRITURADO

*ANALYSIS OF TENSILE AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE WITH THE
ADDITION OF SHREDDED TIRE*

OLIVEIRA, Maria Eduarda Koslowski¹
VICENTE, Rodrigo Georges²
BRESSAN, Rodrigo Techio³

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar as características mecânicas do concreto padrão e do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por pneu triturado. A finalidade desse material é que o concreto com adição de pneu triturado possa ser substituído pelo concreto convencional na execução de residências com uma resistência de 30MPa, além de ser uma alternativa sustentável ao meio ambiente. Para a elaboração do traço desejado, utilizou-se o livro de materiais de construção civil com referência para 30MPa (BAUER FALCÃO, 2000), fazendo a adaptação para o traço com adição de pneu triturado, com base nos métodos estabelecidos pela Norma Brasileira (NBR). Para os ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral, foram moldados 24 corpos de prova. Após a sua moldagem, os corpos de prova foram deixados na câmara úmida e retirados 24 horas antes do ensaio apenas para se ratificar a superfície em ambas as faces para uma melhor distribuição de carga na prensa hidráulica. Os resultados dessa investigação evidenciaram que o concreto com adição de pneu não se comportou como o desejado, pois eram esperados resultados semelhantes ou superiores aos ensaios do concreto convencional, de modo a ser utilizado o traço com adição de pneu no lugar do traço convencional na execução de elementos estruturais. Visando a melhorar as características do concreto, foi substituído 4,87% de areia por pneu triturado, mas o material resultante desse processo interferiu negativamente nos resultados de resistência à tração e à compressão, não atingindo a marca esperada de 30MPa.

Palavras-chave: Concreto, Sustentabilidade, Pneu triturado, Resistência.

ABSTRACT

This research aims to analyze the mechanical characteristics of standard concrete and concrete with partial replacement of the fine aggregate by shredded tire. The purpose of this material is that the concrete with the addition of shredded tire can be replaced by conventional concrete in the execution of houses with a strength of 30MPa, besides being a sustainable alternative to the environment. For the preparation of the desired mix, the book of building materials with reference to 30MPa (BAUER FALCÃO, 2000) was used, adapting it to the mix with the addition of shredded tire, based on the methods established by the Brazilian Standard (NBR). For the axial compression and tensile tests by diametrical compression, 24 specimens were molded. After molding, the specimens were left in the humid chamber and removed 24 hours before the test just to ratify the surface on both faces for a better load distribution in the hydraulic press. The results of this investigation showed that the concrete with added tire did not behave as desired, as results similar or superior to the conventional concrete tests were expected, so that the mix with added tire instead of the conventional mix could be used in the execution of structural elements. Aiming to improve the characteristics of the concrete, 4.87% of sand was replaced by crushed tire, but the material resulting from this process interfered negatively in the results of tensile and compressive strength, not reaching the expected mark of 30MPa.

Keywords: Concrete, Sustainability, Crushed tire, Strength.

¹Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel (PR). E-mail: mekoliveira@minha.fag.edu.br.

²Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel (PR). E-mail: gvicente@minha.fag.edu.br.

³ Mestre, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel (PR). E-mail: rtbressan@minha.fag.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil e é composto por cimento, agregado graúdo, agregado miúdo, água e, em alguns casos, aditivos. Sabe-se que o concreto é um produto multifuncional e, portanto, pode acomodar agregados de diversas origens, mas é necessário avaliar as alterações em suas propriedades, pois podem afetar a resistência à tração, a dureza, a ductilidade, a durabilidade e o módulo de elasticidade. Essa avaliação é necessária para garantir a qualidade e a resistência de determinada obra.

A fim de se pensar alternativas e econômicas e ambientais, a reutilização do pneu triturado no concreto tem sido alvo de estudos de diversos pesquisadores, pois se justifica como uma alternativa atraente de utilização desses resíduos, ao mesmo tempo em que se resulta em modificações das propriedades do concreto que podem ser benéficas para certas aplicações (ALBUQUERQUE, 2009).

À medida que a produção de pneus inservíveis aumenta, cresce também a quantidade de pneus inservíveis que são descartados indevidamente. A destinação final desse material continua sendo uma questão ambiental, pois a grande maioria é descartada de forma incorreta, resultando em danos ambientais e sociais de grandes dimensões.

Essa nova composição de concreto, com substituição parcial do agregado miúdo por pneu triturado, pode possibilitar benefícios significativos ao meio ambiente e, a partir desta pesquisa, analisou-se a sua resistência à tração e à compressão, a fim de melhorar as suas características.

Sendo assim, a pergunta a ser respondida com a pesquisa é: *O concreto com substituição parcial do agregado miúdo por pneu triturado pode ser substituído pelo concreto convencional?*

Este trabalho acadêmico se justifica em função de aspectos técnicos e ambientais. Com a análise da substituição parcial do agregado miúdo por pneu triturado, é possível aferir se o resultado dessa alteração pode contribuir para um produto de qualidade e resistente. Ademais, se tal aspecto for verificado, será uma alternativa sustentável à destinação de pneus que não podem ser mais utilizados, retirando de circulação materiais que seriam provavelmente jogados na natureza.

Este trabalho está limitado ao exame da resistência à tração e à compressão e à análise do *slump test*. O objetivo geral é analisar as características mecânicas do concreto padrão e do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por pneu triturado. Atrelados ao escopo central, têm-se como objetivos específicos:

- Verificar a resistência a tração do concreto com adição de pneu triturado, utilizando como referência a norma NBR 7222 (ABNT, 1994);
- Verificar a resistência a compressão do concreto com adição de pneu triturado, utilizando como referência a norma NBR 5739 (ABNT, 2018);
- Verificar o teste de abatimento segundo a NBR 67 (ABNT, 1998).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITO DE CONCRETO

De acordo com o Bastos (2019), o concreto é um material composto, preparado com cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo. O concreto pode ou não conter adições e aditivos químicos, com a finalidade de melhorar ou adaptar as suas características básicas.

2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO

A NBR 7222 (ABNT, 1994) prescreve o método para determinar a resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova e testemunhos cilíndricos de concreto e argamassa. As diretrizes estabelecidas nessa normativa para o ensaio de corpos de prova moldados são igualmente válidas, sempre que aplicáveis, para os testemunhos extraídos de estruturas, de concreto de acordo com a NBR 7680 (ABNT, 2015).

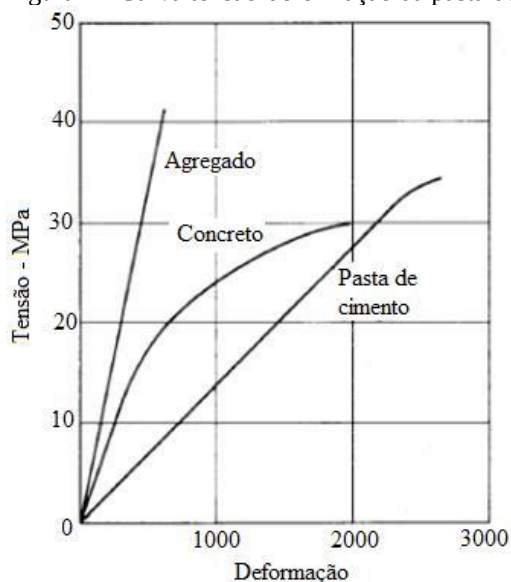
A NBR 5739 (ABNT, 2018), por sua vez, indica o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 5738 e extraídos conforme NBR 7680 (ABNT, 2015).

Quadros (2014) argumenta que a resistência à compressão é a propriedade do concreto mais conhecida pelos profissionais, e tem sido usada quase que unicamente para se garantir a qualidade do concreto. Na prática da engenharia, o módulo de elasticidade e a resistência à tração não são fatores em que predominam decisões, principalmente no canteiro de obras. Um exemplo dessa prática acontece no momento da retirada das formas de lajes e vigas feitas normalmente quando o valor da resistência à compressão é atingido. Esse critério desconsidera as prováveis deformações e fissuras que podem surgir (BASTOS, 2019).

A resistência à tração tem relação com a resistência à compressão, sendo maior quando essa cresce. É também um fator preponderante na durabilidade do material em função da fissuração. Por conseguinte, a compreensão dessa propriedade é importante para se idealizar estruturas de concreto adequadas principalmente do ponto de vista da fissuração e da durabilidade (BASTOS, 2019).

O concreto tem duas fases distintas, o agregado e a matriz da pasta de cimento, e três fases, considerando, além desses dois sistemas, a interface entre eles, chamada de zona de transição. Segundo Neville (1982), a rigidez do material composto não reflete totalmente a rigidez de cada um dos seus constituintes; por isso, a relação tensão-deformação do concreto fica compreendida entre as duas, quase sempre lineares, do agregado e da pasta de cimento, como visualiza-se na Figura 1.

Figura 1 - Curva tensão-deformação da pasta de cimento, agregado e concreto

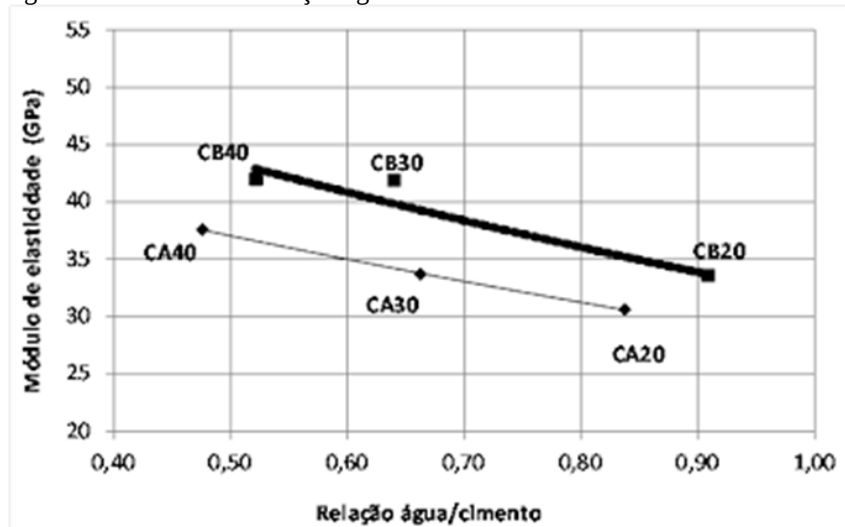


Fonte: Neville (1982).

A relação água/cimento é um dos fatores que determina as propriedades da pasta de cimento, afetando também o módulo de elasticidade. Assim, a associação tensão-deformação depende da resistência individual da pasta de cimento, que, por sua vez, é dependente da porosidade da pasta (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Mantendo-se constante o abatimento do concreto, um aumento na relação água/cimento promove uma redução no módulo estático de elasticidade secante, da mesma forma que na resistência à compressão (MELO NETO; HELENE, 2002). A Figura 2 ilustra essa afirmação:

Figura 2 - Influência da relação água/cimento sobre o módulo de elasticidade do concreto



Fonte: Melo Neto e Helene (2002).

2.3 SLUMP TEST

Com o intuito de garantir a qualidade do concreto produzido, diversos são os testes que têm contribuído para essa análise. O teste de abatimento, por exemplo, foi projetado para determinar as propriedades de consistência do concreto fresco antes da colocação dos elementos estruturais. O teste de queda, por sua vez, faz parte da tecnologia de materiais e de controle de qualidade. Ao medir a consistência, a trabalhabilidade do concreto pode ser verificada para determinar se ele atende às especificações do projeto, para que possa ser continuado.

Quando necessário, há também o teste para aferir a qualidade do concreto. Atualmente, há uma infinidade de instrumentos para esse fim, sendo essenciais para comprovar que o material atende às especificações. Se o concreto utilizado em uma determinada obra não tiver controle de qualidade ou for executado de forma incorreta, pode comprometer a integridade estrutural da edificação. No caso do *Slump Test*, o que se busca analisar é a consistência do concreto. Essa propriedade é o principal fator que interfere no grau de trabalhabilidade do concreto. A sua consistência é utilizada para relacionar a mobilidade da massa e a coesão dos materiais constituintes. Assim, fundamentalmente, a consistência está associada à interação entre o teor de água e os materiais secos (SCHNEIDER, 2020).

No Brasil, a NBR NM 67 estabelece um método para a realização de ensaios de abatimento, determinando a consistência do concreto fresco a partir de medições de recalque, as quais são

realizadas em laboratório, mas com as mesmas condições do local em que o produtor seria produzido (ABNT, 1998).

2.4 AGREGADOS

Os agregados naturais são encontrados na natureza na forma em que serão utilizados, necessitando somente de um processo de extração para a sua utilização. Os mais comuns são as areias de rios e minas, o pedregulho proveniente da desagregação de rochas e os seixos rolados de rios (ROSSI, 1998).

A distribuição granulométrica do agregado, segundo Dal Molin (1995), influencia o empacotamento dos grãos e pode alterar a fração volumétrica do agregado a ser adicionado em uma mistura de concreto. A fração volumétrica está relacionada ao módulo de deformação do concreto e a demanda de água na mistura (DAL MOLIN, 1995). Essa fase é a principal responsável pela massa unitária, pelo módulo de elasticidade e pela estabilidade dimensional do concreto (METHA; MONTEIRO, 1994). A massa específica do agregado graúdo contribui diretamente para a massa específica final, e é diretamente proporcional à resistência à compressão do concreto.

2.5 PNEU

Os pneus são resíduos que ocupam um grande espaço físico e são especificamente difíceis de compactar, coletar e descartar. Apesar das várias tentativas de minimizar o impacto desse produto no meio ambiente e na sociedade, o acúmulo inadequado desses resíduos tem se configurado um problema ambiental. Para a destinação final de pneus, por exemplo, mesmo após a reforma de residências e estabelecimentos, ainda há um descarte insuficientemente sustentável do ponto de vista econômico, ambiental e sanitário (ANDRADE, 2007).

Todos os métodos disponíveis e muitas vezes utilizados para a eliminação desses resíduos no Brasil e no mundo hoje têm como consequência algum prejuízo ambiental. Isso ocorre com mais frequência em processos de descarte que utilizam altas temperaturas, como a incineração, haja vista que são produzidas e emitidas substâncias tóxicas que prejudicam as pessoas e o meio ambiente em geral. Além disso, quando os pneus são descartados de forma inadequada, tornam-se criadouros para mosquitos, sobretudo, o *Aedes aegypti*. A importação demasiada, sem a devida fiscalização de como esse produto é utilizado e descartado, pode ocasionar questões relacionadas à saúde pública, como

doenças, pandemias e epidemias desenfreadas, segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2016).

2.6 DESTINAÇÃO E UTILIZAÇÃO

O aumento dramático na geração de resíduos sólidos, como explica Andrade (2007), é um grande problema na sociedade moderna. Um exemplo disso são os pneus inservíveis, que se tornaram um grave entrave ambiental devido à sua abundância no mundo. Em função da necessidade de se reduzir os danos ambientais causados pela destinação indevida desses produtos, é preciso urgentemente encontrar soluções para minimizar os impactos ou reutilizar esses materiais (MOTTA, 2008).

Mesmo com as diversas ações já empreendidas para minimizar essa problemática, o acúmulo dos resíduos dispostos inadequadamente ainda é uma situação preocupante, mas que decorre tanto do fato de ser considerada uma consequência indesejada do desenvolvimento econômico quanto da ausência de regulação e fiscalização intensivas. Assim, o descuido com o meio ambiente gerou a poluição das águas, do solo e do ar, a degradação da natureza, a perda de biodiversidade, os danos à saúde e à qualidade de vida e impactos sociais, culturais. Essa pode se tornar uma realidade irreversível e inclusive comprometer em médio e longo prazo o próprio desenvolvimento econômico (MOTTA, 2008).

Devido à constatação, à conscientização e ao aumento dos resultados negativos das agressões ao meio ambiente, os países passaram a regulamentar e a adotar imposições mais rígidas aos diversos agentes envolvidos, sejam consumidores, empresas, poder público ou outras instituições (MOTTA, 2008). A reutilização do pneu triturado no concreto tem sido alvo de estudos de diversos pesquisadores, pois pode ser uma alternativa atraente para reutilizar esses resíduos, ao mesmo tempo em que pode oferecer soluções benéficas para o campo da construção civil (ALBUQUERQUE, 2009).

Segundo Rodrigues e Santos (2013), devido às características inerentes à borracha, como a leveza, a elasticidade, a absorção de energia e as propriedades térmicas e acústicas, os agregados reciclados de borracha de pneu são muito promissores na indústria da construção civil. Nessa perspectiva, Turatsinze e Garros (2008) concluíram que o concreto produzido com borracha reciclada otimiza algumas propriedades, tais como o isolamento térmico e acústico, além de gerar uma baixa densidade e uma maior durabilidade do concreto.

Não obstante a isso, a reutilização depende de conhecimentos profundos dos aspectos ecológicos e técnicos relacionados ao meio ambiente e ao desempenho do pneu como um material de construção. Para amenizar esse impacto na natureza, uma solução encontrada é a adição de borracha triturada à mistura na produção de concreto. Assim, este trabalho objetivou avaliar a viabilidade técnica da adição de borracha triturada oriunda de pneus inservíveis no concreto para fins estruturais com base nas propriedades mecânicas do concreto convencional utilizado na construção civil.

Este trabalho tem como base um estudo realizado no Centro Universitário Assis Gurgacz por Tenroller (2020), que analisou a substituição parcial de agregado graúdo por resíduo de pneu tratado em concreto permeável, mas não obteve os resultados esperados.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

Este é um estudo experimental, que foi realizado no laboratório de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, localizado na cidade de Cascavel (PR). A análise foi desenvolvida por meio de ensaio de tração e compressão na prensa hidráulica e ensaio do *slump test* (Anexo A).

Com base nos dados gerados com os testes de laboratório, foi possível avaliar a substituição parcial do agregado miúdo por pneu triturado. Os dados produzidos nesse processo encontram-se organizados gráficos e planilhas, expostos a partir da seção 3.4.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O estudo experimental foi realizado com ensaios de compressão axial e flexão. Para tanto, foram moldados seis corpos de prova com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme ilustrado na Figura 3: seis corpos de prova para o concreto convencional e seis para o concreto com substituição parcial do agregado miúdo, seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018). Além disso, foram moldados outros seis corpos de prova com dimensões 30x25x37cm, sendo seis para cada tipo de concreto, com base na NBR 12412 (ABNT, 2010).

3.3 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

3.3.1 Materiais

O cimento utilizado foi o *CP II F – Todas as Obras*, da marca Votorantim, que é indicado para o concreto convencional que atende à NBR 11578 (1991). O agregado graúdo foi composto por brita 01 comercial, o agregado miúdo por areia média convencional, ambos disponibilizados pelo Centro Universitário, e a água utilizada no processo foi fornecida pelo sistema de abastecimento de água do município de Cascavel (PR).

3.3.2 Aditivo: pneu triturado

O resíduo de pneu triturado proveniente de recauchutagem e usado na substituição parcial do agregado miúdo foi adquirido em uma empresa cascavelense especializada em triturar pneus inservíveis. Esse material foi triturado em pó por apresentar geometria próxima à da areia.

3.4 DEFINIÇÃO DO TRAÇO

Com base nos estudos realizados, utilizou-se o Quadro 1 como traço base do concreto convencional. Para o traço com a adição de pneu triturado ao concreto, recorreu-se aos valores dispostos nos Quadros 2 e 3.

O traço de referência para confecção dos corpos de prova foi o traço 1: 2,05: 3,00 a/c 0,50 com resistência média de 30 MPa, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Traço base do concreto convencional

Insumo	Quantidade	Traço Unitário
Cimento	10 kg	1
Areia	20,5 kg	2,05
Brita	30 kg	3
Água	5 l	0,50

Fonte: Os Autores (2022).

Quadro 2 - Traço 1

Insumo	Quantidade	Traço Unitário
Cimento	10 kg	1
Areia	10,25 kg	1,025
Pneu	10,25 kg	1,025

Brita	30 kg	3
Água	5l	0,5

Fonte: Os Autores (2022).

Quadro 3 - Traço 2

Insumo	Quantidade	Traço Unitário
Cimento	10 kg	1
Areia	19,5 kg	1,95
Pneu	1 kg	0,1
Brita	30 kg	3
Água	5 l	0,5

Fonte: Os Autores (2022).

Os corpos de prova foram moldados seguindo os valores expostos nos Quadros 1, 2 e 3 estabelecidos, posteriormente, foram ensaiados à compressão axial e à tração por compressão diametral, aos 7 e 28 dias, conforme o cronograma de pesquisa.

3.5 CÁLCULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

3.5.1 Corpos de Prova

Os corpos de prova foram moldados e curados conforme a NBR 7215 e a NBR 5738 (ABNT, 2015), que se admite a utilização de corpos de prova de relação comprimento/diâmetro entre 1 e 2. Além disso, é preciso utilizar o dispositivo de moldagem descrito na norma, e o número de camadas deve ser respectivamente, entre 2 e 4.

Para o teste de ensaio de tração por compressão diametral, o contato entre o corpo de prova e os pratos da máquina de ensaio foi somente ao longo de duas geratrizes. Admite-se a adaptação de dispositivos complementares às máquinas cujos pratos apresentem o diâmetro ou maior dimensão inferior à altura do corpo de prova.

3.5.2 Resultados

A NBR 7222 (ABNT, 1994) indica o método para determinar a resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de argamassa e concreto, sendo calculada pela seguinte Equação 3.

(3)

$$F(t.D) = 2.F/b.d.L$$

Em que:

$F(t.D)$ é a resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05 MPa;

F é a carga máxima obtida no ensaio (kN);

d é o diâmetro do corpo de prova (mm);

L é a altura do corpo de prova.

3.5.3 Certificado de ensaio

A certificação do ensaio garante que o concreto analisado está apto ou não para a utilização. Ademais, demonstra os resultados gerados no ensaio de tração e compressão, permitindo que se dê sequência à pesquisa, conforme estabelecido na norma NBR 7222 (ABNT, 1994).

Um certificado do ensaio deverá conter as seguintes informações:

- a) Procedência do corpo de prova;
- b) Identificação do corpo de prova;
- c) Data de moldagem;
- d) Idade do corpo de prova;
- e) Data do ensaio;
- f) Diâmetro e altura do corpo de prova;
- g) Defeitos eventuais do corpo de prova;
- h) Carga máxima;
- i) Resistência à tração por compressão diametral em MPa, com aproximação de 0,05 MPa.

3.5.4 Cálculo da resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado na prensa hidráulica do laboratório de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz. Avaliou-se a capacidade do material resistir a uma quantidade de força pela área que está o material. Até a data dos ensaios, os corpos de prova foram mantidos em processo de cura úmida.

Seguiu-se o procedimento estabelecido pela NBR 5739 (ABNT, 2018), que prescreve o método dos ensaios. Os corpos de prova foram rompidos com uma certa tolerância de tempo, como ilustrado no Quadro 5.

Quadro 5 - Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura

Idade de ensaio	Tolerância permitida
24 h	+/- 30 min ou 2,1%
3 d	+/- 2 h ou 2,8%
7 d	+/- 6 h ou 3,6%
28 d	+/- 20 h ou 3,0%
60 d	+/- 36 h ou 2,5%
90 d	+/- 2 d ou 2,2%

Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018).

A resistência foi obtida a partir da divisão a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova. O resultado é expresso com aproximação de 0,1MPa.

A apresentação dos resultados foi feita a partir de determinados quadros, contendo as seguintes informações:

- a) número de identificação do corpo de prova;
- b) data de moldagem;
- c) idade do corpo de prova;
- d) data do ensaio;
- e) resistência à compressão, expressa com aproximação de 0,1 MPa;
- f) tipo de ruptura do corpo de prova conforme Figura 6.

3.5.5 Coleta de dados

A coleta de dados ocorreu entre junho e agosto de 2022 e seguiu as diretrizes da NBR 5739 (ABNT, 2018) e NBR 12142 (ABNT, 2010). Os dados referentes aos testes de tração e compressão e as propriedades mecânicas entre os concretos foram analisados conforme os laudos resultantes do processo.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados teve como base o traço para o concreto convencional, de acordo com o livro de materiais de construção civil de Bauer Falcão (2000), que estabelece a resistência média de 30MPa. Nesse contexto investigativo, a substituição do concreto convencional pelo concreto com adição de pneu triturado será considerada aceitável caso a resistência seja igual ou superior a 30MPa.

4 ANÁLISES E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS DO TRAÇO 1 COM 50% DE AREIA E 50% DE PNEU EM PÓ

Ao iniciar a confecção do concreto com adição de 50% de pneu em pó, observou-se que o volume do pneu em pó era substancialmente maior que o volume da areia. Ao passo que um balde de areia pesa em torno de 10,25kg, o peso de um balde de pneu é 4kg, como atestam as Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Peso do pneu



Figura 4 - Peso da areia



Fonte: Os Autores (2022).

Em função do volume dispare, a consistência do concreto foi a desejada, pois a pasta ficou com muito pó de pneu, conforme mostra a Figura 5. Por conta disso, não foi possível utilizar esse traço para dar continuidade à pesquisa.

Figura 5 - Traço 1 com substituição de 50% de areia por pneu em pó



Fonte: Os Autores (2022).

4.2 RESULTADOS DO TRAÇO 2 COM SUBSTITUIÇÃO DE 4,87% DE AREIA POR PNEU EM PÓ

Em função de o primeiro traço não obter os resultados desejados, diminuiu-se a quantidade de pneu em pó. Desse modo, os corpos de prova foram moldados com o traço 2 1:1,95:0,1:3 a/c 0,5, ilustrado na Figura 6, obtendo-se um novo traço unitário como evidencia o Quadro 6.

Figura 6 - Corpos de prova moldados



Fonte: Os Autores (2022).

Quadro 6 - Traço 2 com adição parcial de pneu triturado.

Insumo	Quantidade	Traço Unitário
Cimento	10 kg	1
Areia	19,5 kg	1,95
Pneu	1 kg	0,1
Brita	30 kg	3
Água	5 l	0,5

Fonte: Os Autores (2022).

Com esse novo traço, a confecção do concreto foi realizada com êxito. Os ensaios de tração e de compressão foram realizados com 7 e 28 dias e ficaram na câmara úmida até a data dos testes, como indica a Figura 7.

Figura 7 - Corpos de prova na cura úmida



Fonte: Os Autores (2022).

4.2.1 Resultados dos ensaios de resistência a tração por compressão diametral

Os corpos de prova foram tirados da cura úmida 24 horas antes do ensaio para que fossem retificados e ficassem prontos para os testes, como se visualiza na Figura 8. Após o ensaio de tração na prensa hidráulica (Figura 9), o cálculo da resistência à tração por compressão diametral foi feito com o auxílio de tabelas, e os resultados estão resumidos no Quadro 7. O valor da resistência foi obtido por meio da média de cada ensaio, tanto para 7 como para 28 dias, e o valor ideal é expresso em MPa, de acordo com a NBR 7222.

Figura 8 - Corpos de prova retificados



Fonte: Os Autores (2022).

Figura 9 - Ensaio de tração



Fonte: Os Autores (2022).

Quadro 7 - Resultados da média das resistências a tração

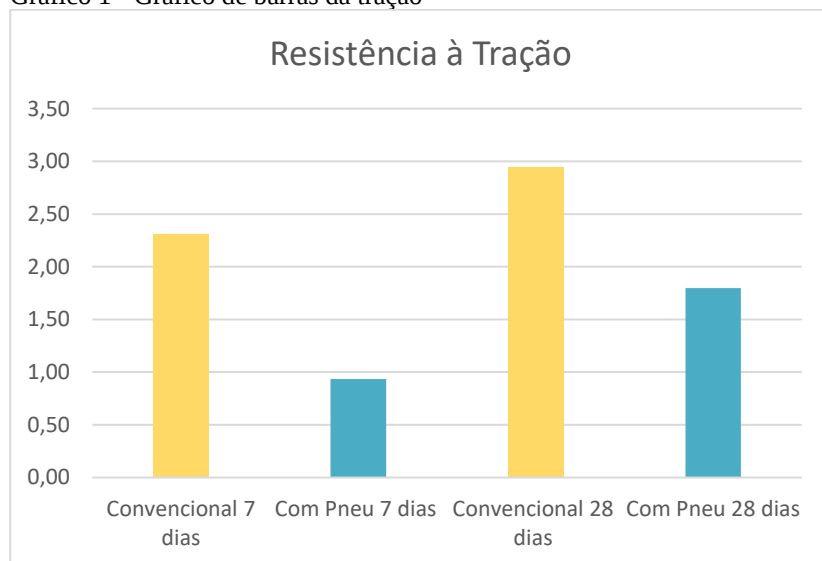
Resistencia à tração $F(Td) = 2 \cdot F / (\pi \cdot d \cdot L)$		Unidade de Medida	Desvio Padrão
Convencional 7 dias	2,31	MPa	0,15
Convencional 28 dias	2,95	MPa	0,65
Com pneu 7 dias	0,94	MPa	0,24
Com pneu 28 dias	1,80	MPa	0,16

Fonte: Autores (2022).

A resistência à tração do concreto pode variar entre 8 e 15% da resistência à compressão. No caso deste estudo, conforme os cálculos apresentados no Quadro 7, a tração não está dentro desse valor. O Gráfico 1 indica que a resistência a tração por compressão diametral diminuiu com a adição do pneu triturado.

Uma série de fatores afetam a resistência à tração, e, nesta pesquisa, atribui-se isso ao agregado substituído.

Gráfico 1 - Gráfico de barras da tração



Fonte: Os Autores (2022).

4.2.2 Resultados dos ensaios de resistência à compressão

A resistência à compressão foi obtida a partir da média da divisão da carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova, conforme os dados do Quadro 8.

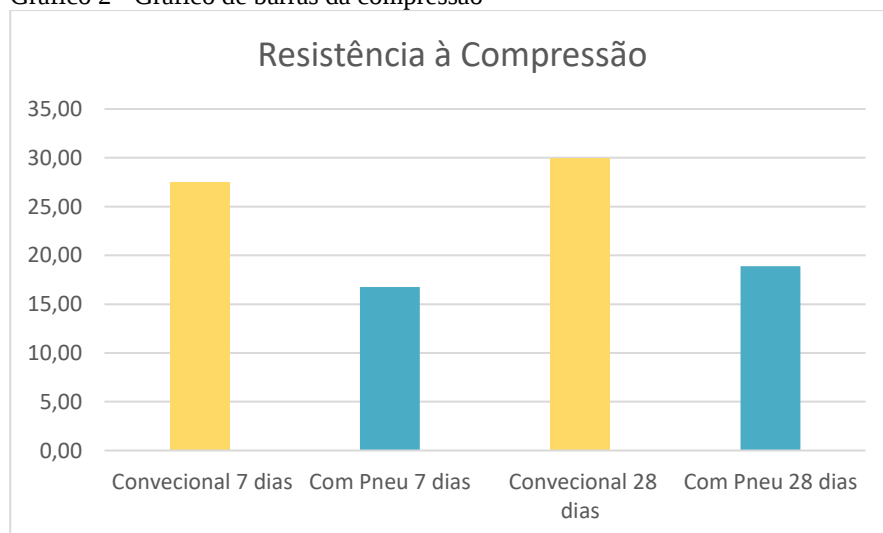
Quadro 8 - Resultados da média das resistências a compressão

Resistencia à compressão F/A		Unidade de Medida	Desvio Padrão
Convencional 7 dias	27,55	MPa	0,47
Convencional 28 dias	30,02	MPa	2,05
Com pneu 7 dias	16,74	MPa	0,48
Com pneu 28 dias	18,90	MPa	1,35

Fonte: Os Autores (2022).

A resistência à compressão axial do concreto com adição do pneu não atingiu a resistência estabelecida inicialmente de 30MPa. A média obtida para 28 dias foi a de 18,90MPa, com uma melhor visualização no Gráfico 2

Gráfico 2 - Gráfico de barras da compressão

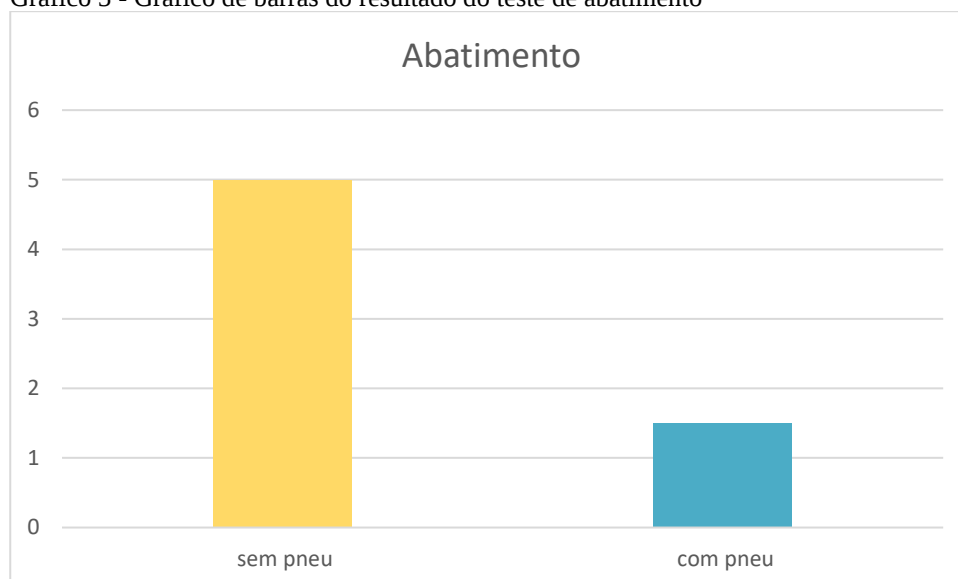


Fonte: Os Autores (2022).

4.2.3 Resultado do *Slump Test*

Tratando-se do ensaio de abatimento, os resultados obtidos para os traços e as suas variações estão representados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Gráfico de barras do resultado do teste de abatimento



Fonte: Os Autores (2022).

Conforme evidencia o gráfico, a variação de abatimento entre o concreto convencional e o concreto com adição de pneu triturado foram significativamente grandes. Quanto maior o abatimento resultante desse ensaio, mais fluido será o concreto. Nesse caso, o concreto sem adição de pneu é mais fluido do que o concreto com adição de pneu triturado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi analisar a possibilidade de se utilizar um concreto com adição de pneu triturado, comparando-o ao concreto convencional com resistência de 30 Mpa. Esperava-se que o concreto com adição de pneu atingisse essa resistência para que pudesse ser utilizado em construções distintas.

Na primeira tentativa, substituiu-se 50% da areia por pneu triturado no traço 1, porém, resultou em uma pasta de concreto sem a consistência desejada. O traço foi refeito com apenas 4,87% de areia substituída. Apesar de a consistência da pasta de concreto ter sido boa, os dados revelaram que adição do pneu contribuiu para que a resistência à compressão fosse de 18,89MPa e a resistência à tração de 1,8MPa, dados inferiores ao concreto convencional, cujos resultados demonstraram uma resistência à compressão de 30,02MPa e uma resistência à tração de 2,95MPa. Um dos fatores que influenciou no resultado final dos ensaios foi a utilização do mesmo fator água cimento para o concreto

convencional e para o concreto com adição, entendemos que o fator de água teria que ser menor para o concreto com adição de pneu triturado pois o pneu absorve menos água que a areia.

Com o *slump test* verificou-se um abatimento de 5cm para o concreto convencional e 1,5cm para o concreto com adição de pneu.

Embora os resultados não tenham sido os esperados, esta pesquisa abre caminho para novos estudos, podendo-se, por exemplo, moldar um elemento estrutural bi apoiado armado utilizando o traço com adição do pneu para se verificar a resistência à tração e à compressão.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C. **Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneu.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11578:** Cimento Portland composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7222:** Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12412:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738:** Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT 2018.

ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis:** alternativas possíveis de reutilização. 2007. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BASTOS, P.S. **Fundamentos do concreto armado.** Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2019.

BAUER FALCÃO, L. A. **Materiais de construção civil.** Rio de Janeiro: Ed. Bauer, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Descarte correto de pneus elimina criadouros. **Gov.br**, 28 de janeiro de 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/noticia-acom-2016-01-1413>. Acesso em: 15 ago. 2022.

DAL MOLIN, D.C.C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adição microsilica**. 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

TENROLLER, G. E. **Análise da substituição parcial de agregado graúdo por resíduo de pneu tratado em concreto permeável**. Fundação Assis Gurgacz, FAG. Cascavel, 2020

MELO NETO, A. A.; HELENE, P. R. L. Módulo de Elasticidade: dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 44, Belo Horizonte, 2002. **Anais...** Belo Horizonte: IBRACON, 2002.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MOTTA, F. G. A cadeia de destinação dos pneus inservíveis – O papel da regulação e do desenvolvimento tecnológico. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 167-184, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. São Paulo: PINI, 1982.

QUADROS, P. A. **Estudo das correlações entre as propriedades mecânicas do concreto**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

RODRIGUES, J. P. C.; SANTOS, C. C. Resistência à compressão a altas temperaturas do betão com agregados reciclados de borracha de pneu. In: CONGRESSO IBERO LATINO-AMERICANO SOBRE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO, 2, 2013. **Anais...** Coimbra, Portugal: CILASCI, 2013.

ROSSI, N. **Materiais de Construção Civil: Agregados**. São Paulo: PINI, 1998.

SCHNEIDER, N. *Slump Test*: tudo sobre o ensaio de abatimento do concreto. **NesloSchneider.com.br**, 23 de julho de 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/slump-test/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20Slump%20Test,concretagem%20de%20um%20elemento%20estrutural>. Acesso em: 15 ago. 2022.

TURATSINZE, A.; GARROS, M. On the modulus of elasticity and strain capacity of self compacting concrete incorporating rubber aggregates. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 52, n. 10, p. 1209-1215, 2008.

ANEXOS

ANEXO A – ENSAIO DE COMPRESSÃO



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos - Ensaio finalizado
Corpo de Prova - Cp C/ Pneu 03

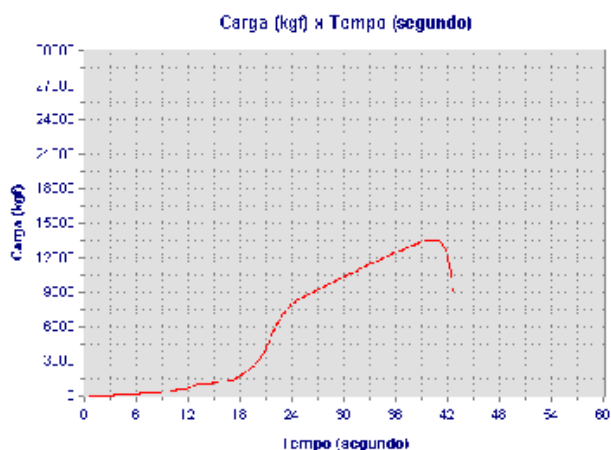
Dados Cadastrais

Amostra: TCC 30/07/2022
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente:
Responsável: Rodrigo e Maria Eduarda
Data de Moldagem: 23/07/2022

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 13.550
Tensão máxima (MPa): 16,9
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



sábado, 30 de julho de 2022

10:58:08



NBR 7222 - Determinação da resist. à tração por compressão diametral de cp cilíndricos
Corpo de Prova - Cp C/ Pneu Diametral 02

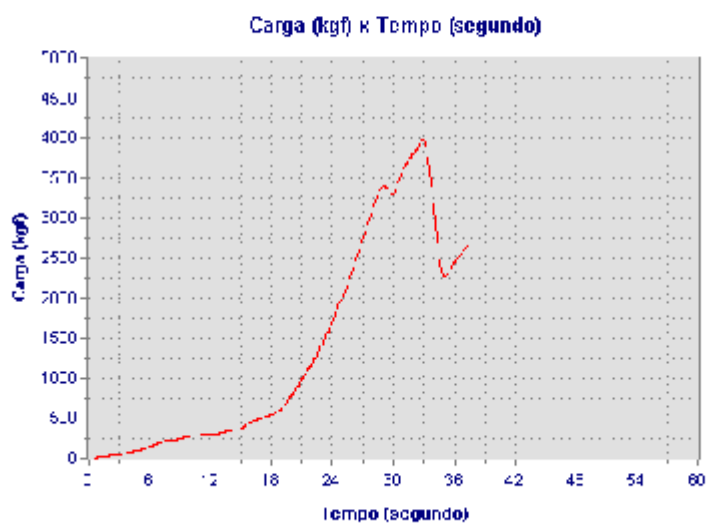
Dados Cadastrais

Amostra: TCC 30/07/2022 Diametral
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente:
Responsável: Rodrigo e Maria Eduarda
Data de Moldagem: 23/07/2022

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 3.980
Tensão máxima (MPa): 1,2
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado





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

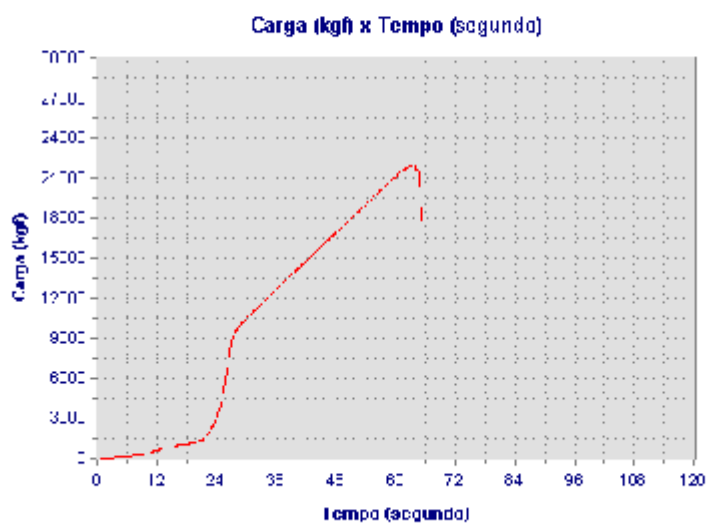
Dados Cadastrais

Amostra: TCC 30/07/2022
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente:
Responsável: Rodrigo e Maria Eduarda
Data de Moldagem: 23/07/2022

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 21.940
Tensão máxima (MPa): 27,4
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado



sábado, 30 de julho de 2022

11:01:08



NBR 7222 - Determinação da resist. à tração por compressão diametral de cp cilíndricos
Corpo de Prova - Cp Convencional Diametral 03

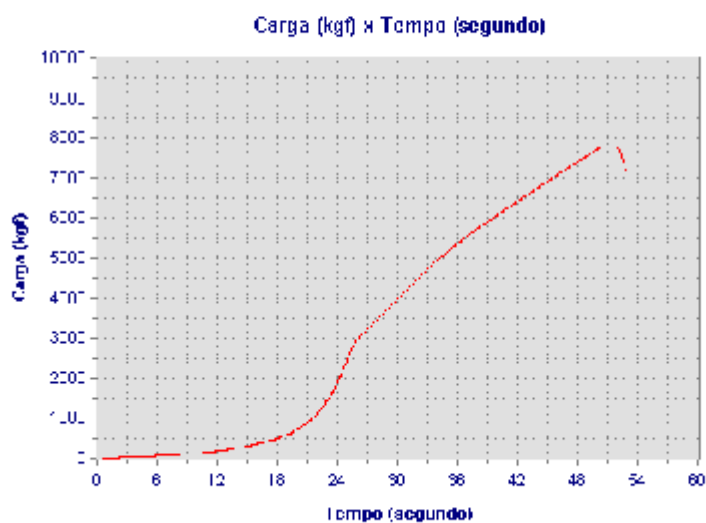
Dados Cadastrais

Amostra: TCC 30/07/2022 Diametral
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente:
Responsável: Rodrigo e Maria Eduarda
Data de Moldagem: 23/07/2022

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 7.800
Tensão máxima (MPa): 2,4
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado





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

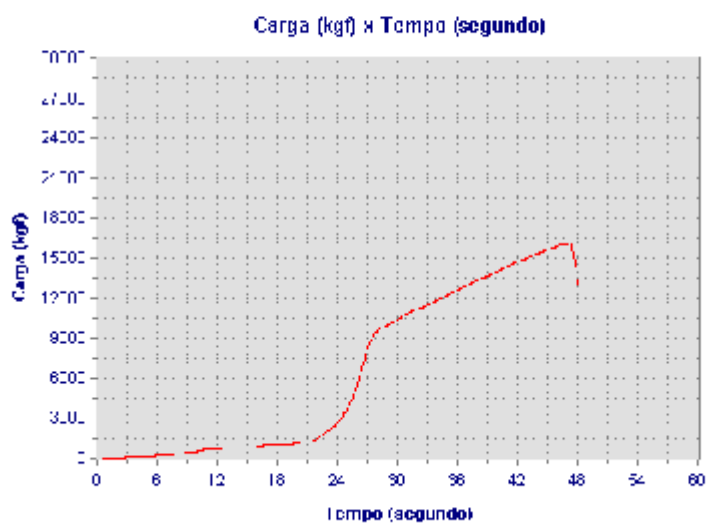
Dados Cadastrais

Amostra: AMOSTRA DE CP DE PROVA
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: MARIA EDUARDA E RODRIGO
Responsável:
Data de Moldagem: 23/07/2022

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 16.030
Tensão máxima (MPa): 20,0
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





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

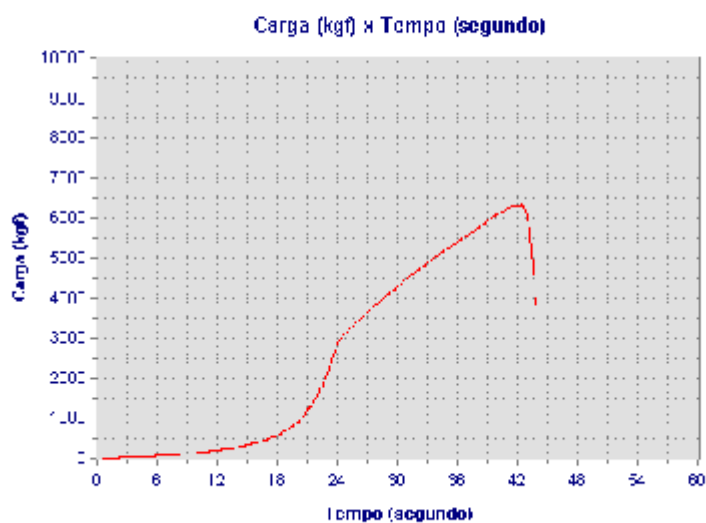
Dados Cadastrais

Amostra: AMOSTRA DE CP DE PROVA
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente: MARIA EDUARDA E RODRIGO
Responsável:
Data de Moldagem: 23/07/2022

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 6.330
Tensão máxima (MPa): 2,0
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado





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

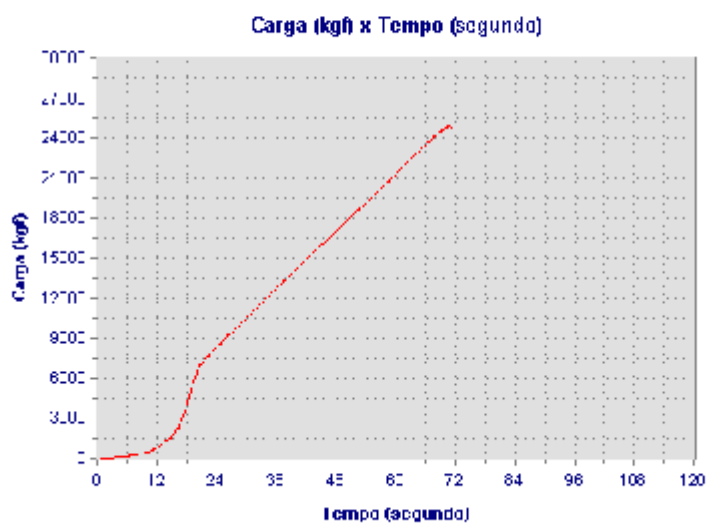
Dados Cadastrais

Amostra: AMOSTRA DE CP DE PROVA
Tipo de ensaio: Compressão Axial
Cliente: MARIA EDUARDA E RODRIGO
Responsável:
Data de Moldagem: 23/07/2022

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 24.880
Tensão máxima (MPa): 31,1
Tipo de Ruptura:

Gráfico do ensaio realizado





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

Dados Cadastrais

Amostra: AMOSTRA DE CP DE PROVA
Tipo de ensaio: Compressão Diametral
Cliente: MARIA EDUARDA E RODRIGO
Responsável:
Data de Moldagem: 23/07/2022

Resultado do ensaio

Carga máxima (kgf): 10.840
Tensão máxima (MPa): 3,4
Mód. Elasticidade (GPa):

Gráfico do ensaio realizado

