UNISC
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Ana Carolina Aggens

Análise Experimental do Módulo de Elasticidade do Concreto Estrutural

Santa Cruz do Sul

2024

Ana Carolina Aggens

Análise Experimental do Módulo de Elasticidade do Concreto Estrutural

Trabalho de conclusão II apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 09/12/2024.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Christian Donin (Orientador)
Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

_____
Prof. Henrique Rupp
Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

_____
Prof. Dr. Eduardo Rizzatti
Universidade Federal de Santa Maria(UFSM)

Aos meus pais que, desde cedo, me ensinaram com muito amor e carinho o valor da educação e que não há limites para a busca de um novo sonho.
Vocês serão para sempre a minha base.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais, Vilmar e Rosenei Aggens, pelos ensinamentos, pela minha base de educação e motivação e pela compreensão a minha ausência enquanto me dedicava a realização deste trabalho.

Ao meu namorado Wellington, por todo amor, carinho e incentivo.

Ao meu querido e dedicado orientador, professor Christian Donin, agradeço a disponibilidade em dividir seus conhecimentos com tanta maestria, sempre será meu grande exemplo na área e na minha formação.

Ao Laboratório de Materiais da Engenharia Civil e seus funcionários, em especial ao Engº. Produção Henrique Eichner e Bolsista Caroline Borstmann pelo auxílio na realização dos ensaios.

Ao meu amigo e colega Bruno Dittberner, que foi excepcional no auxílio da realização da concretagem dos moldes de concreto para a realização dos ensaios aqui descritos.

Aos meus colegas de curso pela troca de ideias e ajuda mútua, onde juntos conseguimos avançar e enfrentar obstáculos.

A coordenadora do curso, Professora Letícia, por depositar sua confiança em mim e não medir esforços para colaborar.

E por fim, agradeço a Universidade de Santa Cruz do Sul e ao seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade de ensino.

Não sei de que modo o mundo me vê. Mas a mim mesmo, pareço ter sido apenas um menino brincando na praia, entretendo-me com encontrar, de quando em quando, um seixo mais liso ou uma concha mais bela que o ordinário, enquanto todo o vasto oceano da verdade jazia inexplorado diante de mim.

Isaac Newton (1727)

RESUMO

A análise experimental do módulo de elasticidade do concreto estrutural tem como objetivo determinar uma das propriedades mecânicas mais importantes deste material, fundamental para o dimensionamento de estruturas. O módulo de elasticidade reflete a rigidez do concreto e sua capacidade de resistir a deformações quando submetido a esforços, sendo um parâmetro essencial no comportamento das construções. Este estudo envolve a realização de ensaios laboratoriais, comumente ensaios de compressão uniaxial, em que corpos de prova de concreto são submetidos a cargas progressivas até a ruptura. A partir da medição da deformação e da tensão aplicada, calcula-se o módulo de elasticidade do concreto, considerando a fase elástica da curva tensão-deformação. O experimento é influenciado por diversos fatores, como a dosagem do concreto, a idade, a qualidade dos agregados e a presença de aditivos, que podem alterar significativamente os resultados. A análise dos dados obtidos permite uma melhor compreensão das propriedades do concreto e contribui para a melhoria do desempenho de estruturas, das normas regulamentadoras para a realização dos ensaios, assegurando maior segurança, durabilidade e eficiência no uso desse material em obras de engenharia civil. Este estudo é fundamental para otimizar o uso do concreto nas mais diversas aplicações estruturais e aprimorar as práticas de construção.

Palavras-chave: Módulo de elasticidade, Módulo de Elasticidade estático, Módulo de Elasticidade Dinâmico, Concreto Estrutural.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Influência da cura sobre a resistência do concreto 17
Figura 2 - Esquema da deformação do corpo de prova de concreto..... 17
Figura 3 - Comportamento típico σ-ε da pasta de cimento, agregado concreto 20
Figura 4 - Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial. 21
Figura 5- Tipos de módulos de elasticidade 23
Figura 6 – Fatores que afetam o módulo de elasticidade do concreto 24
Figura 7- Representação esquemática do módulo de deformação secante (E_{cs}) 25
Figura 8 - Representação esquemática do módulo de elasticidade, tangente inicial (E_{ci}) 26
Figura 9: Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade – Metodologia A 27
Figura 10 -Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade – Metodologia B 28
Figura 11 -Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade secante a uma tensão indicada 29
Figura 12 -Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de deformação secante pelo diagrama tensão-deformação. 30
Figura 13 - Condições de contorno mecânicas ótimas para o modo de vibração flexional fundamental 32
Figura 14 - Ilustração da aplicação do impacto e captura da resposta acústica 33
Figura 15 - Prensa Hidráulica marca IMEC 35
Figura 16 - Prensa hidráulica utilizada para o ensaio estático 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator de correção de T em função de h/d para o coeficiente de Poisson igual a 0,20 34
Tabela 2 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e ff_c – 20MPa (7 dias) 37
Tabela 3 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 20MPa (21 dias) 40
Tabela 4 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 20MPa (28 dias) 42
Tabela 5 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 30MPa (7 dias) 46
Tabela 6 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 30MPa (14 dias) 48
Tabela 7 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 30MPa (21 dias) 50
Tabela 8 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 30MPa (28 dias) 53
Tabela 9 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 40MPa (7 dias) 55
Tabela 10 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 40MPa (14 dias) 57
Tabela 11 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 40MPa (21dias) 60
Tabela 12 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 40MPa (28 dias) 62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (20MPa) – 7 dias 37
Gráfico 2 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (20MPa) – 7 dias 38
Gráfico 3- Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (20MPa) – 7 dias 38
Gráfico 4 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c - 20 MPa - 7 dias 39
Gráfico 5 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (20MPa) – 21 dias 40
Gráfico 6- Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (20MPa) – 21 dias 41
Gráfico 7 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (20MPa) – 21 dias 41
Gráfico 8 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c - 20 MPa -21 dias 42
Gráfico 9 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (20MPa) – 28 dias 43
Gráfico 10 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (20MPa) – 28 dias 43
Gráfico 11 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (20MPa) – 28 dias 44
Gráfico 12 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c - 20 MPa -28 dias 44
Gráfico 13 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (30MPa) – 07 dias 46
Gráfico 14 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (30MPa) – 07 dias 46
Gráfico 15 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (30MPa) – 07 dias 47
Gráfico 16 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30 MPa -07 dias 47
Gráfico 17 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (30MPa) – 14 dias 48
Gráfico 18 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (30MPa) – 14 dias 49
Gráfico 19 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (30MPa) – 14 dias 49
Gráfico 20 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30 MPa - 14 dias 50
Gráfico 21 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (30MPa) – 21 dias 51
Gráfico 22 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (30MPa) – 21 dias 51
Gráfico 23 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (30MPa) – 21 dias 52
Gráfico 24 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30 MPa - 21 dias 52
Gráfico 25 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (30MPa) – 28 dias 53
Gráfico 26 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (30MPa) – 28 dias 53
Gráfico 27 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (30MPa) – 28 dias 54
Gráfico 28 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30 MPa - 28 dias 54
Gráfico 29 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (40MPa) – 07 dias 55
Gráfico 30 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (40MPa) – 07 dias 56
Gráfico 31 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (40MPa) – 07 dias 56
Gráfico 32 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40 MPa - 07 dias 57
Gráfico 33 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (40MPa) – 14 dias 58

Gráfico 34 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (40MPa) – 14 dias 58
Gráfico 35 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (40MPa) – 14 dias 59
Gráfico 36 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40 MPa - 14 dias 59
Gráfico 37 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (40MPa) – 21 dias 60
Gráfico 38 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (40MPa) – 21 dias 61
Gráfico 39 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (40MPa) – 21 dias 61
Gráfico 40 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40 MPa - 21 dias 62
Gráfico 41 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (40MPa) – 28 dias 63
Gráfico 42 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (40MPa) – 28 dias 63
Gráfico 43 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (40MPa) – 28 dias 64
Gráfico 44 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40 MPa - 28 dias 64

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

Mc – Massa de cimento

Ma – Massa de areia

Mb – Massa de brita

F_{ck} - Feature Compression Know

CA – Água Cimento

CP – Corpo de Prova

MPa – megapascal

s - segundos

ef – resistência efetiva

psi - pounds per square inch

N – Newton

m – metros

m^2 - metro quadrado

GPa - gigapascals

E_{cs} - módulo de elasticidade secante

E_{ci} - módulo de elasticidade tangente inicial

E_{cd} – módulo de elasticidade dinâmico

f_c – ensaio de compressão uniaxial

h – Horas

Hz - Hertz

Sumário

1. INTRODUÇÃO 10

1.1 Justificativa 11

1.2 Objetivos 12

1.2.1 Objetivo Geral 12

1.2.2 Objetivos Específicos 12

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13

2.1. Concreto Estrutural 13

2.1.1. Caracterização de materiais 13

2.1.2. Dosagem dos materiais 14

2.1.3. Moldagem e Cura dos Corpos de Prova 16

2.2. Resistência à Compreensão Simples 18

2.3. Módulo de Elasticidade 18

2.3.1. Definição do Módulo de Elasticidade 18

2.3.2. Determinação do Módulo de Elasticidade 23

2.3.3. Fatores que influenciam no Módulo de Elasticidade 23

2.4. Método estático 25

2.5. Método dinâmico 31

3. METODOLOGIA 34

3.1. Caracterização dos materiais 34

3.2. Moldagem e cura dos corpos de prova 34

3.3. Determinação da resistência à compressão simples 34

3.4. Determinação do Módulo de elasticidade estático 35

4. RESULTADOS 37

4.1. Concreto de 20MPa 37

4.2. Concreto de 30MPa 45

4.3. Concreto de 40MPa 55

5. CONCLUSÃO 66

REFERÊNCIAS 68

ANEXO A – Ensaio de Compressão Simples – 20 MPa (7 dias - CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 70

ANEXO B – Ensaio de Compressão Simples – 20 MPa (22 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 75

ANEXO C – Ensaio de Compressão Simples – 20 MPa (28 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 80

ANEXO D – Ensaio de Compressão Simples – 30 MPa (7 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 85

ANEXO E – Ensaio de Compressão Simples – 30 MPa (14 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 90

ANEXO F – Ensaio de Compressão Simples – 30 MPa (21 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 95

ANEXO G – Ensaio de Compressão Simples – 30 MPa (28 dias – CP1, CP2, CP3 e CP5) 100

ANEXO H – Ensaio de Compressão Simples – 40 MPa (7 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 104

ANEXO I – Ensaio de Compressão Simples – 40 MPa (14 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 109

ANEXO J – Ensaio de Compressão Simples – 40 MPa (21 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 114

ANEXO K – Ensaio de Compressão Simples – 40 MPa (28 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5) 119

1. INTRODUÇÃO

Considerado atualmente como um dos principais componentes na construção, muito utilizado devido à sua alta resistência e durabilidade. O concreto estrutural por definição é basicamente uma mistura de cimento, água, agregados miúdos e graúdos, onde a mistura do cimento com a água forma uma pasta aderente aos agregados, tornando um sólido resistente.

O concreto em seu estado endurecido, possui propriedade mecânicas importantes, como sua resistência a tensão de ruptura sob cargas de compreensão, módulo de elasticidade e porosidade. Com o crescimento e a evolução na indústria da construção civil, muitos projetistas especificam valores mínimos a serem atendidos. Até recentemente não havia consenso sobre a metodologia ideal para o controle rotineiro dessas propriedades, bem como uma metodologia de ensaio que fosse normatizada. Felizmente essa realidade está mudando, com a publicação da ABNT NBR 8522 – 1&2: 2021, que normatizou os módulos de elasticidade estático e dinâmico.

O conhecimento do módulo de elasticidade é essencial para o dimensionamento de estruturas de concreto, pois influencia diretamente a capacidade de suporte da estrutura e a distribuição das tensões internas.

Neste trabalho, será realizado uma análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto estrutural, com diferentes classes de concretos.

1.1 Justificativa

O módulo de elasticidade estático e dinâmico é um parâmetro fundamental para a caracterização mecânica dos materiais, influenciando diretamente as propriedades de elasticidade e resistência dos mesmos. A determinação precisa e confiável do módulo de elasticidade estático e dinâmico é essencial para o projeto e controle de qualidade de materiais utilizados em diversos setores da indústria, tais como construção civil, aeronáutica, automobilística, entre outros.

O estudo do comportamento elástico do concreto estrutural é de extrema importância para garantir a segurança e durabilidade de estruturas e componentes, evitando falhas prematuras e garantindo o desempenho esperado do material em serviço. Além disso, a análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico possibilita a avaliação da capacidade de deformação e recuperação de um material quando submetido a esforços mecânicos, sendo essencial para o desenvolvimento de novos materiais com propriedades superiores.

Portanto, o estudo do módulo de elasticidade estático e dinâmico em um trabalho de conclusão de curso é de grande relevância, contribuindo para o avanço do conhecimento científico e tecnológico na área de materiais e engenharia. Além disso, o aprofundamento nesse tema possibilita a formação de profissionais mais capacitados e qualificados para atuarem no mercado de trabalho, contribuindo para o desenvolvimento e inovação de novos produtos e processos industriais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo o a análise do módulo de elasticidade dos concretos através dos ensaios de resistência à compressão simples, e frequência ressonante, a fim de correlacioná-los. Para tal foram confeccionados corpos de prova de concretos, com um índice de consistência semelhante, com diferentes fatores de água/cimento (0,45, 0,55 e 0,65), ensaiados nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão teórica sobre o conceito de módulo de elasticidade estático e dinâmico e suas principais características.

- Estudar a influência de fatores como composição química, estrutura cristalina e processos de fabricação na determinação do módulo de elasticidade de diferentes materiais.

- Realizar ensaios de compressão em corpos de prova de diferentes resistências para determinar experimentalmente seus módulos de elasticidade estáticos.

- Discutir as aplicações práticas do conhecimento do módulo de elasticidade estático na engenharia, tais como no projeto de estruturas e seleção de materiais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Concreto Estrutural

O concreto estrutural é utilizado na estrutura das construções, onde oferece uma resistência suficiente para manter de pé uma edificação.

Dentre as suas principais características podemos citar a durabilidade e resistência (onde possui uma tenência maior a corrosão e a grandes cargas do que o concreto comum) facilidade de aplicação em diferentes formas e estruturas, e a economia, já que apesar do custo inicial mais elevado em comparação com o concreto comum, o concreto estrutural apresenta uma vida útil significativamente mais longa e demanda menos manutenção ao longo do tempo. Essa durabilidade e resistência do material podem resultar em economia a longo prazo, uma vez que os custos de reparos e substituições são reduzidos. Além disso, o concreto estrutural é capaz de suportar melhor as condições adversas do ambiente, tornando-se uma escolha mais sustentável e rentável no longo prazo.

2.1.1. Caracterização de materiais

A caracterização de materiais no concreto estrutural refere-se à análise e identificação das propriedades dos materiais utilizados na composição do concreto, como cimento, agregados, água e aditivos. Essas propriedades incluem resistência, densidade, porosidade, tamanho e forma dos agregados, teor de umidade, entre outras.

No concreto estrutural a caracterização dos materiais é essencial para garantir a qualidade e desempenho da estrutura, pois permite conhecer as características dos materiais de forma a otimizar a mistura e garantir que o concreto atenda às especificações técnicas e normas de segurança. Além disso, a caracterização dos materiais também é importante para a durabilidade e vida útil da estrutura.

Dessa forma, a caracterização de materiais no concreto estrutural envolve ensaios laboratoriais e análises que permitem determinar as propriedades dos materiais e avaliar sua adequação para a aplicação na construção de estruturas de concreto.

2.1.2. Dosagem dos materiais

A dosagem dos concretos é fundamental para garantir a melhor combinação dos materiais utilizados na sua produção. Essa dosagem, chamada de traço, é essencial para obter a proporção ideal entre os componentes do concreto. A relação ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo a proporção em massa seca a mais recomendada. Além disso, é importante seguir as orientações de peso mínimo da amostra de acordo com a dimensão máxima dos agregados utilizados.

A expressão do traço unitário de concreto segue a configuração:

1:a:b:a/c

Onde:

1: Massa de cimento em relação à Massa de cimento (Mc/Mc = 1);

a: Massa de areia em relação à Massa de cimento (Ma/Mc = a);

b: Massa de brita em relação à Massa de cimento (Mb/Mc = b);

a/c: Massa de água em relação à Massa de cimento (Mágua/Mc = a/c).

Para conseguir as condições ótimas de resistência e operacionalidade do concreto, o cimento, o agregado fino (areia), o agregado grosso (brita) e a água devem ser acrescentados nas proporções corretas. Um bom empacotamento e contato interfacial entre os agregados são obtidos ao se utilizar partículas de tamanhos diferentes, onde as partículas finas de areia devem preencher os vazios entre as partículas de brita. A quantidade da pasta água-cimento deve ser suficiente para cobrir todas as partículas de areias e de brita, senão a ligação de cimentação será incompleta. Os elementos de concreto devem ser misturados por completo, e a ligação completa entre o cimento e as partículas agregadas depende da adição correta de água
(Callister, 2006).

Encontram-se então três tipos de dosagem, a não experimental e a dosagem racional e experimental.

A dosagem não experimental de concreto é um método empregado na determinação das proporções ideais de materiais que devem ser utilizadas na mistura de concreto, sem a necessidade de realizar testes de laboratório. Este método se baseia em fórmulas e tabelas que levam em consideração a

resistência esperada do concreto, as características dos materiais disponíveis e as condições de exposição do concreto.

Assim, através da dosagem não experimental, é possível obter um concreto com as propriedades desejadas, sem a necessidade de realizar testes prévios. Este método é amplamente utilizado na construção civil, principalmente em pequenas obras, onde não há disponibilidade de equipamentos e materiais para a realização de testes de laboratório.

A dosagem racional do concreto é o processo de determinar a proporção correta dos materiais constituintes do concreto, como cimento, areia, brita e água, de acordo com as especificações do projeto e as características desejadas do concreto final. Geralmente, essa dosagem é feita com base em ensaios laboratoriais e cálculos teóricos, levando em consideração as propriedades dos materiais e as condições de exposição do concreto

Já a dosagem experimental do concreto é realizada por meio de ensaios práticos, ajustando as proporções dos materiais até que se obtenha o concreto com as propriedades desejadas. Esse método é mais empírico e muitas vezes é utilizado em obras de pequeno porte ou em situações em que não é possível realizar todos os ensaios laboratoriais necessários.

Em geral, a dosagem racional do concreto é mais precisa e confiável, pois leva em consideração as características dos materiais e as exigências do projeto. No entanto, a dosagem experimental pode ser útil em algumas situações específicas, especialmente para ajustar as proporções dos materiais de acordo com as condições reais de execução da obra.

A NBR 12655 (ABNT, 1996) estabelece que a composição dos concretos de resistência característica à compressão (f_{ck}) de 15 MPa ou superior deve ser determinada através de uma dosagem racional e experimental. O estudo da dosagem deve ser realizado utilizando os mesmos materiais e condições semelhantes às da obra, levando em consideração as especificações do projeto e as condições de execução.

2.1.3. Moldagem e Cura dos Corpos de Prova

A moldagem e cura dos corpos de prova é um processo importante na realização de ensaios e testes de materiais de construção, como concreto e argamassa.

Para os ensaios de módulo de elasticidade estático e dinâmico que serão realizados deste estudo, devem ser produzidos corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 100mm e altura de 200mm conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015) que exige que para corpos de prova cilíndricos e altura deve ser igual ao dobro do diâmetro, fatores de água/cimento (CA) de 0,45, 0,55 e 0,65, respectivamente classes de concreto (CP) de C40, C30 e C20.

Para o adensamento manual dos corpos de prova, utiliza-se a tabela 3 da NBR 5738 (ABNT, 2015), onde podemos consultar a quantidade de golpes e camadas de acordo com o diâmetro do Corpo de Prova.

No caso do cilindro que utilizaremos (⌀100mm), serão duas camadas de adensamento com 12 golpes de adensamento por camada.

Conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015) o concreto deve ser introduzido no molde em camadas de volume aproximadamente igual e compactada a cada camada utilizando a haste com seu extremo em forma de semiesfera.

A primeira camada deve ser compactada em toda sua espessura, sem atingir a base do molde. Os golpes devem ser distribuídos de forma uniforme em toda a seção transversal do molde, após finalizar, bater levemente na face externa do molde para fechar possíveis vazios. A última camada deve ser moldada com concreto em excesso, de modo que ao ser compactada preencha todo o volume do molde, permitindo o nivelamento e remoção do excesso de material.

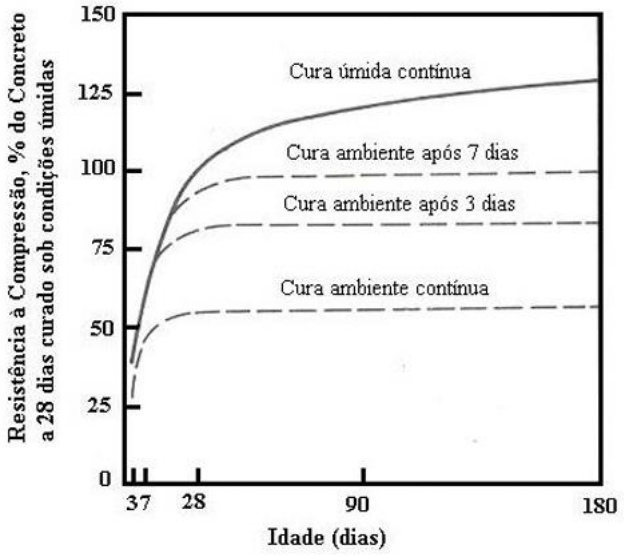
Para a cura, a mesma norma estabelece que deva se cobrir os moldes com material não reagente e não reativo, a fim de evitar a perca de água até que se cumpra o prazo para desmolde de 24 horas.

Ainda conforme a norma, os corpos de prova, após sofrerem o desmolde, devem permanecer em câmera úmida a uma temperatura de 23°C ±2 e umidade relativa do ar mínima de 95%.

O controle da temperatura de cura do concreto afeta diretamente a hidratação do cimento e, consequentemente, pode influenciar a resistência final

do material. De maneira geral, temperaturas mais baixas tendem a resultar em uma menor resistência do concreto. Além disso, a umidade é um fator crucial durante o processo de cura, uma vez que a resistência do concreto não aumenta com o tempo, a não ser que haja uma cura adequada através da presença de umidade, como mostrado na Figura 1.

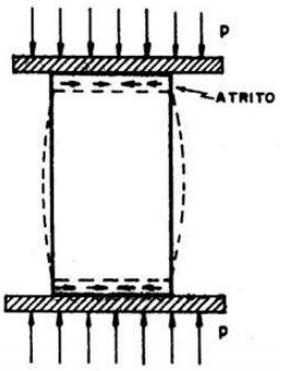
Figura 1- Influência da cura sobre a resistência do concreto



Fonte: Metha e Monteiro (2014, p. 64) apud Kummer (2016).

Com a aplicação de carga, o corpo de prova sofre encurtamento e dilatação transversal. No entanto, o atrito entre o corpo de prova e os pratos da máquina de ensaio impede que a deformação na região próxima dos pratos acompanhe a deformação na região central, o que resulta em uma deformação similar àquela mostrada na Figura 2. Portanto, o tamanho e a forma dos corpos de prova têm uma influência significativa nos resultados dos ensaios de resistência à compressão.

Figura 2 - Esquema da deformação do corpo de prova de concreto



Fonte: Almeida (2002).

2.2. Resistência à Compreensão Simples

A resistência de um material depende de sua capacidade de suportar uma carga sem deformação excessiva ou ruptura. Essa propriedade é inerente ao próprio material e deve ser determinada por métodos experimentais. Um dos testes mais importantes nesses casos é o ensaio de tração ou compressão. Embora seja possível determinar muitas propriedades mecânicas importantes de um material por esse teste, ele e usado primariamente para determinar a relação entre a tensão normal média e a deformação normal média em muitos materiais usados na engenharia.
(Hibbeler, 2010)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR 5739:2018 retrata um método de ensaio para corpos de prova cilíndricos de concreto para a obtenção da sua resistência à compressão. No procedimento, o CP de concreto é posicionado dentro de uma prensa, que é então acionada para aplicar uma carga constante de 0,45 ± 0,15 MPa/s. A prensa continuará a aplicar essa carga até que ocorra uma queda na força, indicando que o CP de concreto atingiu o ponto de ruptura.

Conforme Mehta e Monteiro (2014), o corpo de prova, mesmo sem sinais visíveis de fratura externa, é considerado rompido quando não suportar uma carga maior, isso ocorre devido ao estado avançado de fissuração interna atingido.

A resistência à compressão simples (f_c) é expressa em unidades de pressão, como megapascal (MPa) ou pounds per square inch (psi).

2.3. Módulo de Elasticidade

2.3.1. Definição do Módulo de Elasticidade

Partindo da teoria de Robert Hooke (1635 – 1703) de 1660, quando submetidos à solicitação de uma força de tração ou compressão, todos os materiais apresentam elasticidade ou possuem alguma região elástica. Alguns materiais, quando submetidos a carregamentos, mostram uma relação linear entre a tensão e a deformação, sendo chamados de linearmente elásticos. Por outro lado, materiais que não seguem essa relação são considerados não-

linearmente elásticos, como destacado por Djanikian Filho (2010). Durante a aplicação do carregamento, há um ponto em que a tensão causa uma deformação permanente, conhecida como limite elástico. De acordo com Metha e Monteiro (2014), a não linearidade da relação tensão-deformação ocorre devido ao processo de microfissuração progressiva do concreto sob carga.

A Equação 1 define matematicamente esta força elástica (Fl).

$$Fl = -k.\Delta x \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Fl = a força aplicada sobre um material elástico, expressa em Newton (N);

k = a constante elástica ou constante de rigidez, expressa em Newton por metro (N/m);

Δx = a deformação sofrida pelo material ou diferença no comprimento inicial à medida que é aplicada a força elástica, expressa em metros (m).

Como a força é um vetor, o sinal negativo é utilizado para indicar que a força elástica é sempre contrária à força aplicada no material.

Porém, nos estudos de materiais, a propriedade mecânica mais importante é a tensão de engenharia (σ). Essa propriedade foi definida por Cauchy somente em 1802, através da Equação 2, que estabelece que a tensão é a força aplicada dividida pela área original de um corpo sólido (ARANHA et al., 2016).

$$\sigma = F/A \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

σ = a tensão expressa em Newton por metro quadrado (N/m²) igual a Pascal (Pa);

F = a força aplicada sobre o corpo sólido, expressa em Newton (N);

A = a área original do corpo sólido, expressa em metro quadrado (m²).

Após definir σ, Thomas Young dedicou-se aos estudos de Hooke e introduziu o conceito de módulo de elasticidade como a relação entre σ e a deformação específica do material (ε) (Equação 3).

$$E = \sigma/\varepsilon \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

E = o módulo de elasticidade ou módulo de Young, expresso em GPa;

ε = a deformação específica do corpo sólido, adimensional;

A deformação específica (ε) é a quantidade de deformação que um material sofre em relação às suas dimensões originais. Ela é calculada pela mudança no comprimento ou no volume do material dividido pelo comprimento ou volume original, conforme Equação 4. Materiais com alta deformação específica são mais flexíveis e maleáveis, enquanto materiais com baixa deformação específica são mais rígidos e quebradiços.

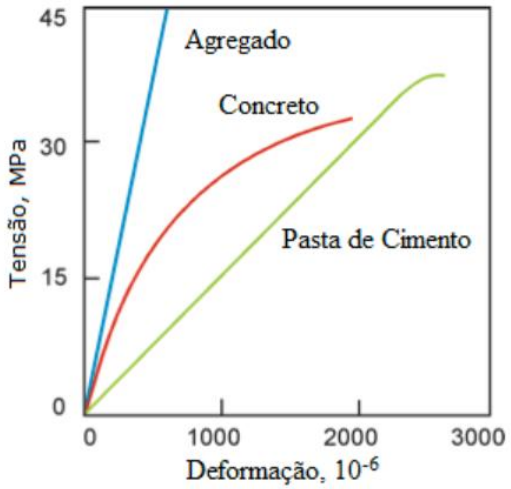
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{lo} = \frac{(l - l0)}{l0} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

Δl = a diferença do comprimento instantâneo (l) e do comprimento inicial ($l0$), expressa em metros (m).

O concreto não segue a lei de Robert Hooke quando submetido a tensões de compressão ou tração, portanto, não se comporta como um material ideal. Ele apresenta um comportamento não linear no diagrama de tensão-deformação (σ-ε) (Figura 3).

Figura 3 - Comportamento típico σ-ε da pasta de cimento, agregado concreto

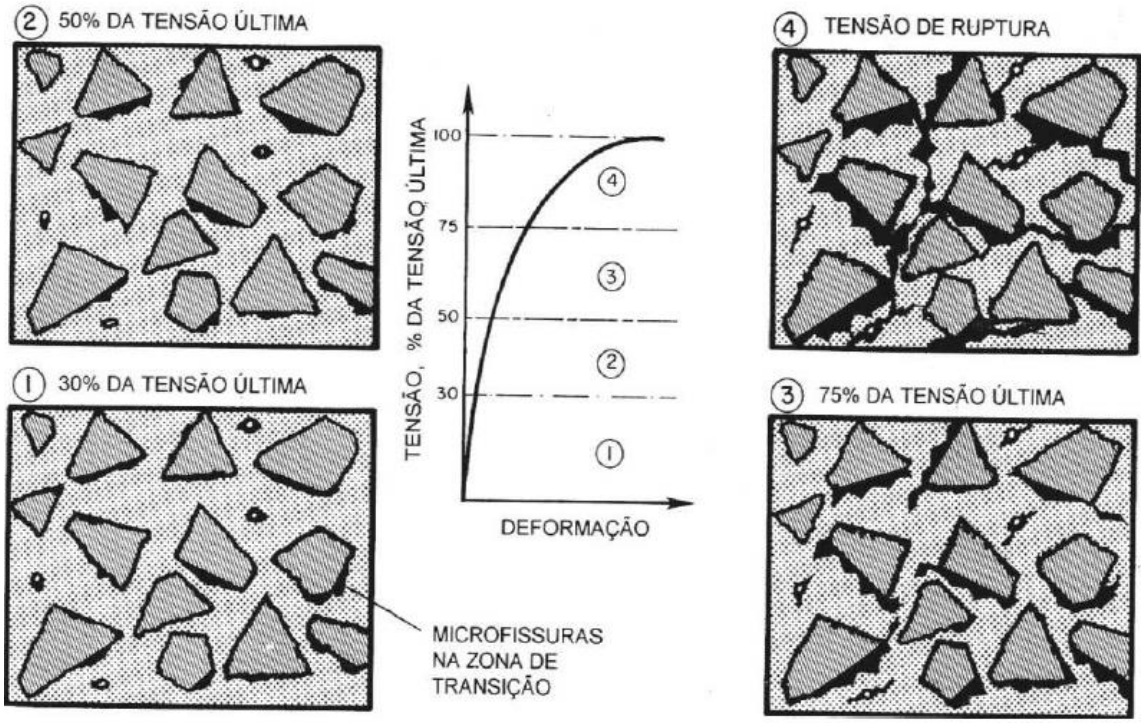


Fonte: Methta e Monteiro (2014)

A Figura 3 mostra que quando o agregado e a pasta de cimento são carregados separadamente, exibem uma curva σ-ε levemente linear. Por outro lado, o concreto apresenta uma curva não linear devido ao surgimento de microfissuras progressivas na interface entre o agregado e a pasta de cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Ainda conforme Mehta e Monteiro (2008), a deformação de um corpo-de-prova de concreto sob carga instantânea não é diretamente proporcional à tensão aplicada, e não é completamente recuperada após o descarregamento. Essa característica pode ser observada na Figura 4, de acordo com o estudo de Glucklich (1968).

Figura 4 - Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial.



Fonte: Methta e Monteiro (2008)

Antes da aplicação de uma carga externa, já existem microfissuras na zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo do concreto. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), em concretos convencionais, essas microfissuras são influenciadas por diversos fatores, como as características de exsudação, a cura do concreto e a resistência da zona de transição. Os autores também afirmam que, devido às diferenças nos módulos de deformação, surgem deformações diferenciais entre a matriz e o agregado graúdo, resultando em fissuras na zona de transição. Na etapa 1 da Figura 4, é possível observar que a curva tensão-deformação permanece linear, pois abaixo de 30% da carga última, as fissuras na zona de transição permanecem estáveis. No entanto, ao

aplicar uma carga de 50 a 60%, começam a surgir fissuras na matriz (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Após a aplicação das cargas, a deformação pode desaparecer parcialmente, retornando ao seu estado inicial, devido à propriedade de elasticidade do material. No entanto, o concreto, por ser não homogêneo e não dúctil, tem uma capacidade de deformação limitada, resultando frequentemente em deformações permanentes. Segundo Metha e Monteiro (2014), o módulo de deformação do concreto é a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um determinado limite, e é determinado pela inclinação da curva tensão-deformação sob um carregamento uniaxial.

De acordo com Metha e Monteiro (2014), a curva tensão-deformação do concreto, um material não-linear, exibe três tipos de módulos de elasticidade: o módulo tangente inicial, secante e tangente. Esses módulos são frequentemente interpretados de forma erroneamente. Destacam-se:

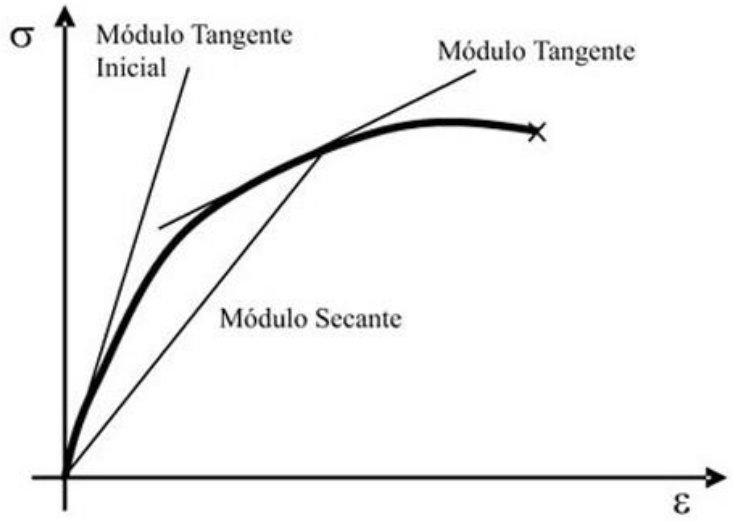
a) O módulo tangente inicial representa a deformação elástica imediata para uma linha tangente à curva tensão-deformação traçada a partir da origem, ou seja, é o coeficiente angular da reta tangente à curva que parte da origem;

b) O módulo secante é a deformação estática imediata, determinada pela inclinação de uma linha traçada da origem até um percentual de f_c, geralmente utilizado como 40% da resistência à compressão;

c) O módulo tangente é a deformação estática imediata, determinada pela inclinação de uma linha traçada em qualquer intervalo da curva tensão-deformação.

Os três tipos de módulos acima descritos, ainda podem ser obtidos por meio de dois métodos: método estático ou método dinâmico. Com exceção do módulo secante, que só pode ser obtido pelo método estático (GUJEL 2014).

Figura 5- Tipos de módulos de elasticidade



Fonte: Araujo, Guimarães e Geye (2012)

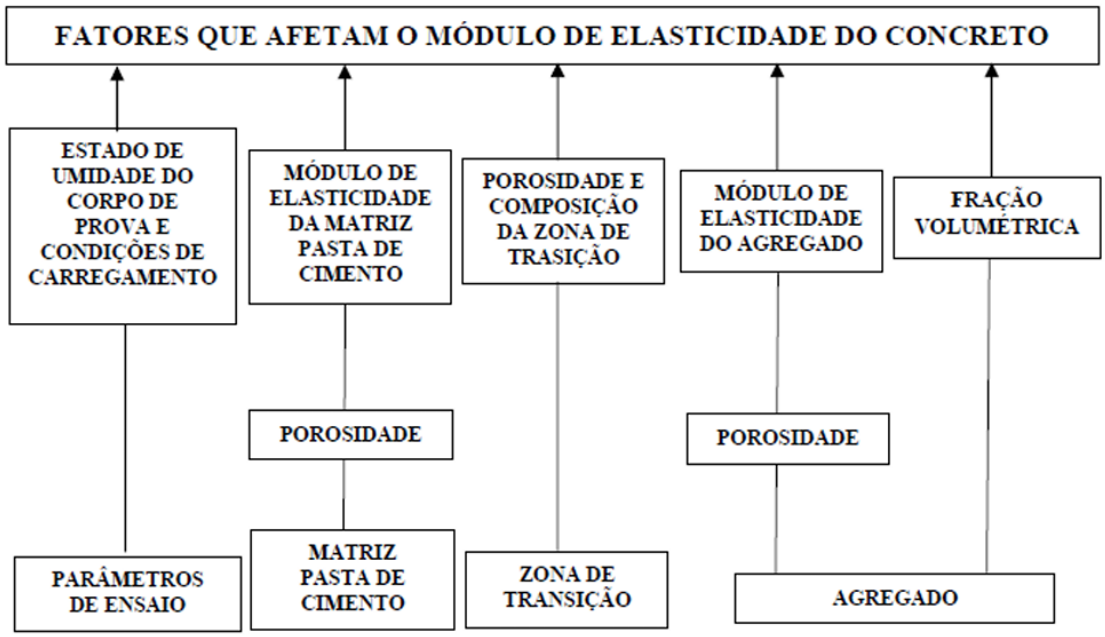
2.3.2. Determinação do Módulo de Elasticidade

Existem os métodos estático e dinâmico regulamentados por normas técnicas para determinar o módulo de elasticidade ou módulo de Young. A norma brasileira ABNT NBR 8522-1:2021, que estabelece os métodos de ensaio para a determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão do concreto endurecido, em corpos de prova cilíndricos e ABNT NBR 8522-2:2021 que trata método de ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico do concreto endurecido empregando o método das frequências naturais de vibração excitadas por impacto, em corpos de prova e testemunhos cilíndricos.

2.3.3. Fatores que influenciam no Módulo de Elasticidade

O concreto é uma rocha artificial produzida pelo homem, composta por diferentes materiais, o que resulta em uma estrutura heterogênea e multifásica. Segundo Mehta e Monteiro (2014), o comportamento elástico do concreto é determinado pela fração volumétrica, pelo módulo da matriz da pasta e dos agregados, e pelas propriedades da zona de transição na interface. A Figura 06 resume os principais fatores que influenciam o módulo de deformação do concreto, conforme os autores citados.

Figura 6 – Fatores que afetam o módulo de elasticidade do concreto



Fonte: Nunes (2005)

Conforme ilustrado na figura, a porosidade da matriz da pasta de cimento influencia diretamente o módulo de elasticidade, sendo que fatores como o fator água/cimento, teor de ar, adições minerais e grau de hidratação do cimento são determinantes para a composição da pasta de cimento. Os agregados, principalmente os graúdos, exercem grande influência no diagrama tensão-deformação. Concretos com maior resistência apresentam módulos de elasticidade superiores e menores deformações, dependendo do tipo e quantidade de agregado graúdo utilizado. A presença de agregados graúdos com alta porosidade afeta significativamente o módulo de elasticidade do concreto, influenciando diretamente em sua rigidez. Agregados densos contribuem para um maior módulo de elasticidade, sendo que a quantidade de agregados graúdos com alto valor de módulo de elasticidade na mistura de concreto resulta em um aumento do módulo de elasticidade do material. Variações na porosidade do agregado não afetam a resistência de concretos de baixa ou média resistência. Dessa forma, é importante ressaltar que diferentes variáveis influenciam de maneira distinta a resistência e o módulo de elasticidade do concreto, como a dimensão, forma, textura superficial, distribuição granulométrica e composição mineralógica dos agregados, que influenciam a

fissuração na zona de transição na interface e, consequentemente, a curva tensão-deformação e o módulo de elasticidade do material.

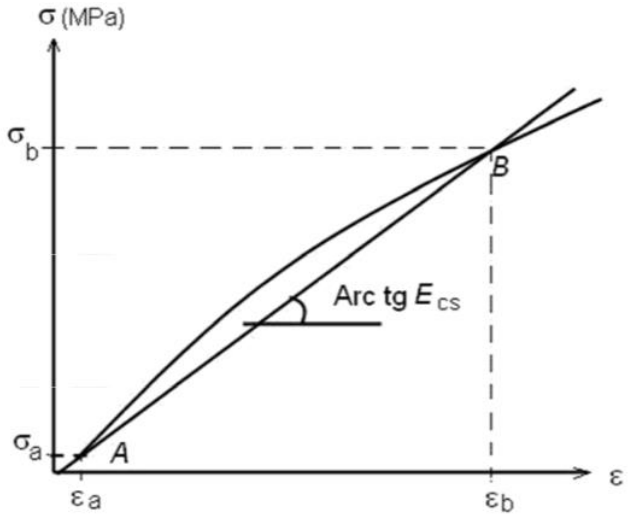
2.4. Método estático

O método estático compreende em determinar o módulo estático de deformação, considerado como um método destrutivo, consistindo na aplicação crescente de carga a uma velocidade controlada no corpo de prova, com monitoração simultânea da deformação resultante (GUJEL 2014).

Ao contrário do ensaio de elasticidade dinâmico, o processo de ensaio é mais demorado, podendo levar até 30 (trinta) minutos para ser executado. Para a determinação do módulo de elasticidade estático, utilizamos como referência a norma brasileira ABNT NBR 8522-1:2021.

A primeira abordagem estática consiste em determinar o módulo de elasticidade secante (E_{cs}), que é calculado como o coeficiente angular da reta secante que conecta dois pontos do gráfico tensão-deformação. O primeiro ponto (A) corresponde a uma tensão de 0,5 MPa e o segundo ponto (B) corresponde à tensão desejada.

Figura 7- Representação esquemática do módulo de deformação secante (E_{cs})

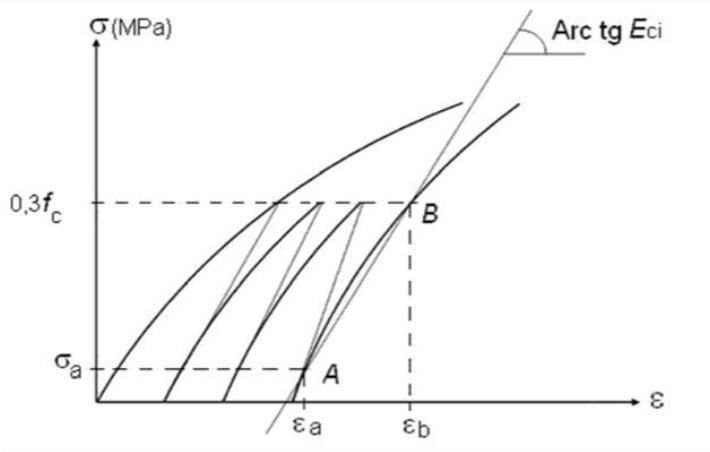


Fonte: ABNT NBR 8522-1:2021

Por outro lado, a segunda metodologia estática visa calcular o módulo de elasticidade tangente inicial (E_{ci}), que é definido como o módulo de elasticidade secante entre uma tensão fixa de 0,5 MPa e 30% da resistência à compressão do concreto, de acordo com a norma. É recomendado realizar ciclos de pré-

carga antes de medir os valores de tensão e deformação, a fim de permitir que o corpo de prova se acomode adequadamente à máquina de ensaios.

Figura 8 - Representação esquemática do módulo de elasticidade, tangente inicial (E_{ci})



Fonte: ABNT NBR 8522-1:2021

A norma estabelece que a estimativa do E_{ci} utilizando o E_{cd} proporciona uma precisão igual ou superior à dos métodos estáticos. Isso se deve ao fato de que o método das frequências naturais de vibração é mais preciso do que os métodos estáticos, o que compensa qualquer incerteza de correlação.

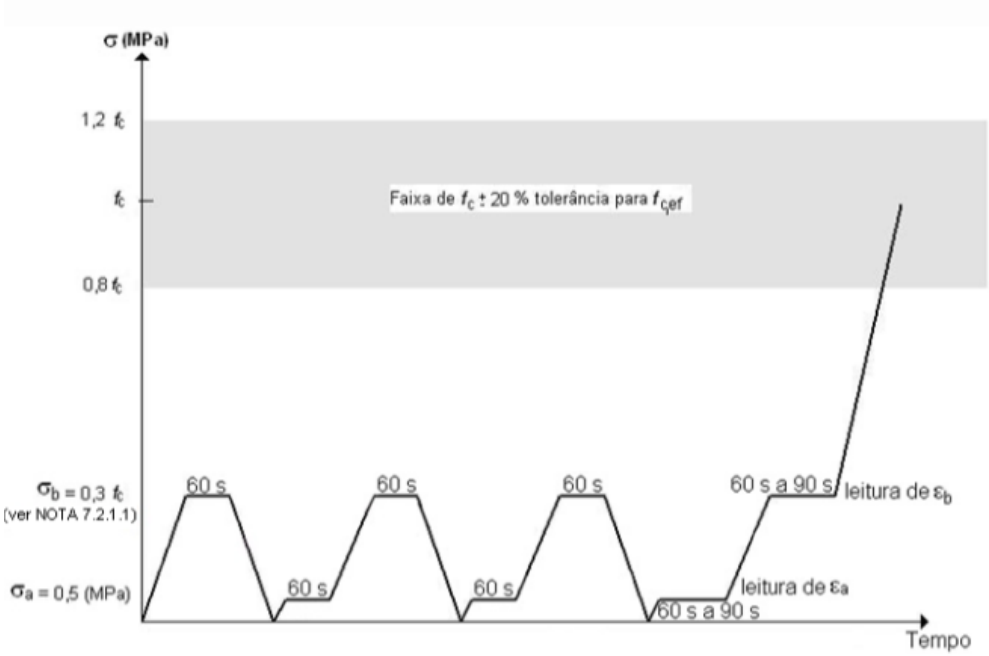
Para a realização do ensaio tangente inicial, é necessário preparar cinco corpos de prova (CPs), dos quais três serão utilizados para o ensaio do módulo de elasticidade e dois para o ensaio de resistência à compressão. Essas amostras devem ser moldadas e curadas de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 5738:2015.

O ensaio começa com a determinação da resistência à compressão do concreto (f_c) em dois CPs, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 5739:2018. Em seguida, é realizado o ensaio do módulo tangente inicial, com uma velocidade de carregamento e descarregamento de 0,45 ± 0,15 MPa/s, conforme ilustrada na figura 9 e 10, respectivamente, com base em umas dais seguintes metodologias:

Metodologia A: Tensão σa fixa, a amostra é posicionada no centro da prensa e submetida a três carregamentos e descarregamentos sucessivos. No primeiro ciclo, o corpo de prova é carregado até a tensão de $0,3f_c$ (limite elástico) por 60 segundos, aliviado até próxima a zero e repetido mais uma vez. No

segundo ciclo, o CP é carregado até 0,5 MPa por 60 segundos, em seguida carregado até 0,3f_c por 60 segundos e aliviado. O ciclo é repetido novamente e no último alívio de tensão, o CP é carregado até 0,5 MPa por 60 segundos para registrar a deformação específica básica (εa). Então, é carregado até 0,3f_c por 60 segundos para registrar a deformação sob a tensão maior (εb). Por fim, o CP é levado à ruptura para determinar a resistência efetiva.

Figura 9: Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade – Metodologia A

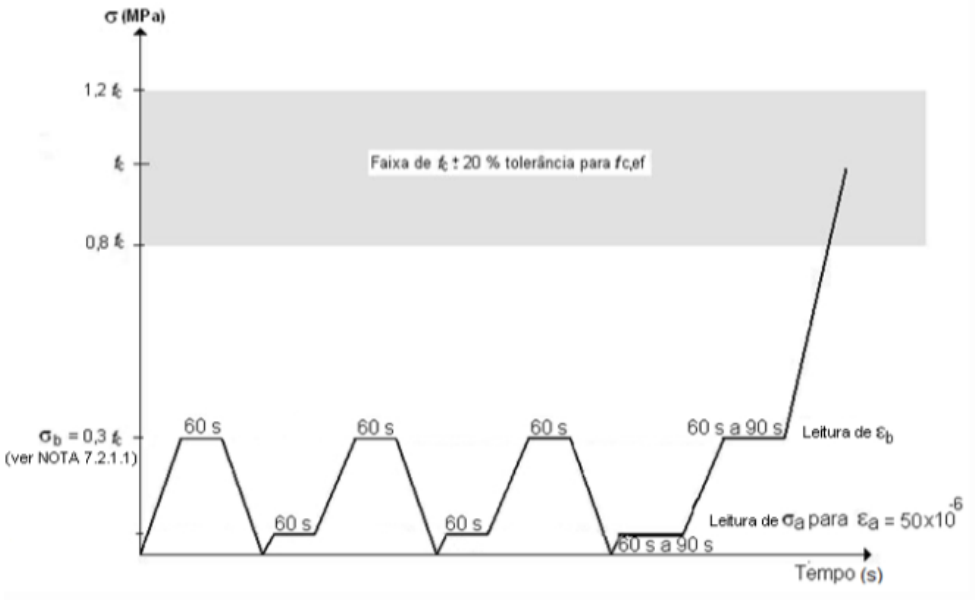


Fonte: ABNT NBR 8522-1:2021

Metodologia B: Deformação específica εa fixa: neste procedimento, o corpo de prova é submetido a um carregamento até atingir a deformação específica de 5x10-6 e mantido nesta condição por 60 segundos, em vez de carregar até a tensão de 0,5MPa como no procedimento de tensão fixa. Após três ciclos, as mesmas deformações são registradas, incluindo a deformação específica básica no instante da deformação de 50x10-6 e a deformação sob a maior tensão aplicada. Por fim, o corpo de prova é levado à ruptura para determinar a resistência efetiva.

Se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, os resultados do corpo de prova não são confiáveis, logo não deve-se utilizar para fins de cálculo.

Figura 10 -Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade – Metodologia B



Fonte: ABNT NBR 8522-1:2021

Portanto, o módulo de elasticidade tangente inicial (E_{ci}) para as duas metodologias, tensão fixa e deformação fixa, é calculado pelas Equações 5 e 6, respectivamente.

$$Eci = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma b - 0{,}5}{\varepsilon b - \varepsilon a} \times 10^{-3} \qquad \text{Equação 5}$$

$$Eci = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma b - \sigma a}{\varepsilon b - 50x10^{-6}} \times 10^{-3} \qquad \text{Equação 6}$$

Sendo:

σa a tensão correspondente a deformação específica de 50x10-6 (MPa);

σb a tensão maior que corresponde a 0,3f_c (MPa);

εa é a deformação específica média dos CPs sob tensão de 0,5 MPa;

εb é a deformação específica média dos CPs sob tensão de 0,3f_c.

O módulo de elasticidade secante (E_{cs}) também pode ser determinado de acordo com os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 8522-1:2021, a mesma indica que primeiramente se aplica uma carga de 20% da prevista para ruptura, caso a diferença de medição seja maior que o indicado, modifica-se a posição do CP, o centralizando até que atinja o valor indicado de 20% como mostra a figura 11, a cada modificação quando não atingido o valor, descarrega-

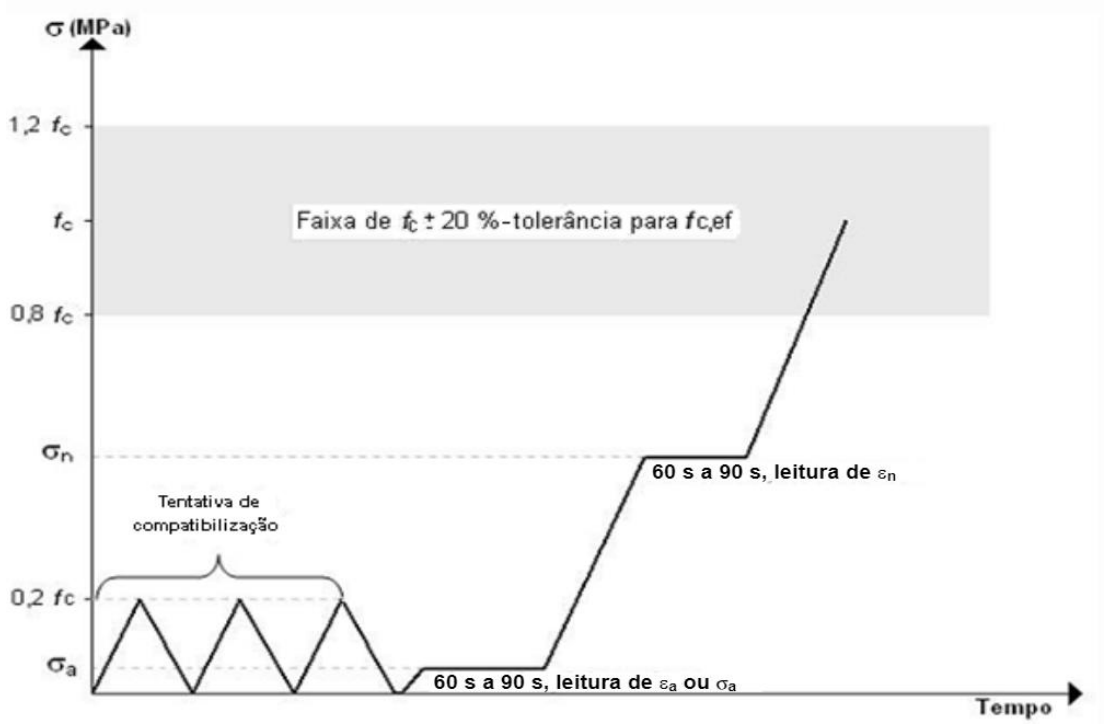
se para a alteração de posição. Para prosseguir o ensaio, após o ajuste como indicado, deve-se carregar o corpo de prova até a força correspondente à tensão de 0,5 MPa (σa) informada pelo interessado e mantê-la neste nível por 60 s, registrando a deformação lida (εa) em no máximo 30 s. Em seguida, o corpo de prova deve ser carregado até a força correspondente à tensão do limite superior (σn) e mantida por 60 s, registrando a deformação lida (εn) em no máximo 30 s.

Como opção alternativa, o corpo de prova pode ser carregado até a deformação específica (εa) de 50 x 10-6 e mantida por 60 s, registrando a força lida correspondente à tensão básica (σa) em no máximo 30 s. Posteriormente, o corpo de prova pode ser carregado até a tensão (σn) informada pelo interessado e mantida por 60 s, registrando a deformação específica (εn) em no máximo 30s.

Após as leituras, a instrumentação pode ser liberada se necessário, e o corpo de prova deve ser carregado na mesma taxa de velocidade de 0,45 ± 0,15 MPa/s até a ruptura, obtendo assim a resistência efetiva ($f_{c, ef}$).

Se a resistência efetiva ($f_{c, ef}$) diferir em mais de 20% da resistência convencional (f_c), os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não podem ser considerados nos cálculos.

Figura 11 -Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de elasticidade secante a uma tensão indicada



Fonte: ABNT NBR 8522-1:2021

Para a realização do cálculo, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$E_{cs,i} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}10^{-3} = \frac{\sigma_n - \sigma_a}{\varepsilon_n - \varepsilon_a}10^{-3}$$ Equação 7

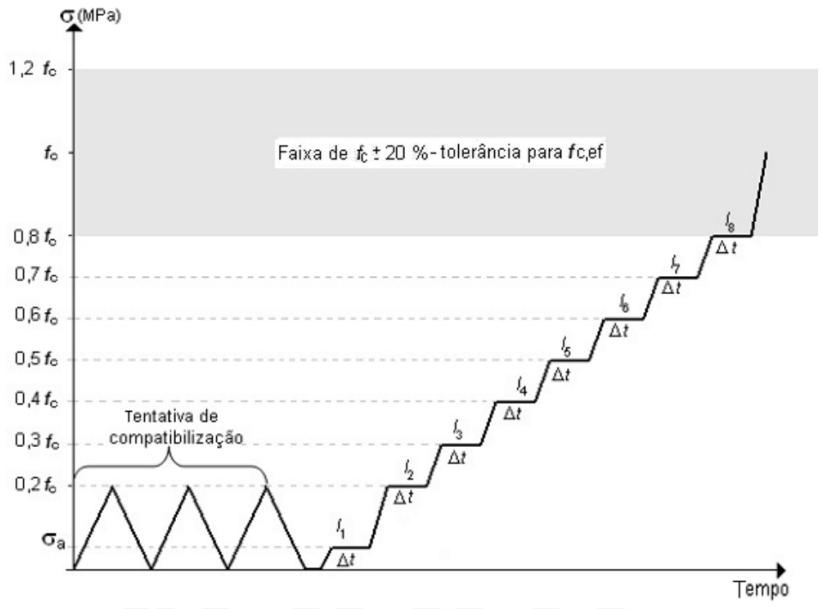
σn é a tensão especificada, expressa em megapascals (MPa);

σa a tensão de 0,5 MPa ou a tensão correspondente a deformação específica de 50x10-6;

εn é a deformação específica de cada corpo de prova sob a tensão especificada;

εa é a deformação específica de cada corpo de prova sob a tensão de 0,5 MPa ou a tensão correspondente a deformação específica de 50x10-6.

O módulo de elasticidade secante (E_{cs}) também pode ser determinado seguindo os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 8522-1:2021. Nesse método, é simulada a comportamento da estrutura no seu primeiro carregamento, utilizando o coeficiente angular da reta secante da curva tensão-deformação obtida sem carga prévia no ponto de controle (CP). O módulo secante pode ser calculado para qualquer tensão específica entre $0,2f_c$ e $0,8f_c$, sem carga prévia no CP. Posteriormente, a amostra é levada à sua ruptura total, e o resultado é validado com os obtidos no ensaio de resistência à compressão.
Figura 12 -Representação esquemática do carregamento para a determinação do módulo de deformação secante pelo diagrama tensão-deformação.



Fonte: ABNT NBR 8522-1:2021

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o módulo de elasticidade dinâmico (MED) é geralmente de 20, 30 e 40 por cento maior do que o módulo de elasticidade estático (ECI) para concretos convencionais de alta, média e baixas resistências, respectivamente.

Destaca-se a falta de consenso em relação aos parâmetros de ensaio necessários para a determinação do módulo de elasticidade estático. Normas nacionais e internacionais variam significativamente em relação a fatores como a taxa de carregamento, número de pré-carregamentos, tensão máxima, geometria e dimensões que podem impactar o resultado.

2.5. Método dinâmico

Nas décadas de 1960 e 1970 foi desenvolvido o método de excitação por impulso e o equipamento Grindosonic que popularizou a caracterização dos módulos elásticos dinâmicos e estendeu o método para o campo do controle de qualidade e inspeção. Neste método, a partir de determinadas condições de contorno mecânicas, o corpo de prova é excitado em um determinado modo de vibração por uma "pancada". O equipamento capta esta vibração com um sensor piezoelétrico ou microfone e informa ao usuário a respectiva frequência de ressonância, a partir da qual são calculados os módulos.

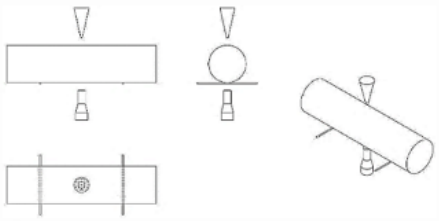
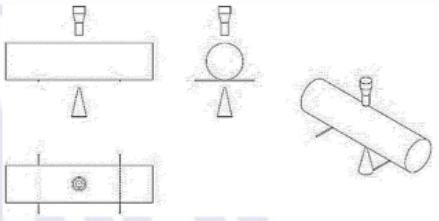
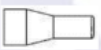
Nas décadas de 1990 e 2000 foram desenvolvidos sistemas de medição baseados em software para a caracterização dos módulos elásticos de materiais pela Técnica da Excitação por Impulso.

O módulo de elasticidade dinâmico pode ser determinado por métodos não destrutivos, como destacado por Shehata (2005). Existem dois métodos principais para essa determinação: um que relaciona o módulo com a frequência natural de vibração e outro que relaciona o módulo com a velocidade de propagação de ondas de ultrassom no corpo-de-prova. De acordo com Pereira e Rodrigues (2010), as técnicas baseadas nas frequências naturais são mais comumente utilizadas na caracterização de materiais cerâmicos e frágeis, assim como em situações de altas temperaturas. Por outro lado, a técnica da velocidade sônica é mais empregada na caracterização de metais e concretos de construção civil.

Para a realização do ensaio, utilizaremos os parâmetros e segmentos adotados na norma brasileira ABNT NBR 8522-2:2021, onde devemos determinar a massa do corpo de prova através da média da face onde englobe os tamanhos máximos e mínimos, com tolerância de diâmetro de 1% e de altura de 2%.

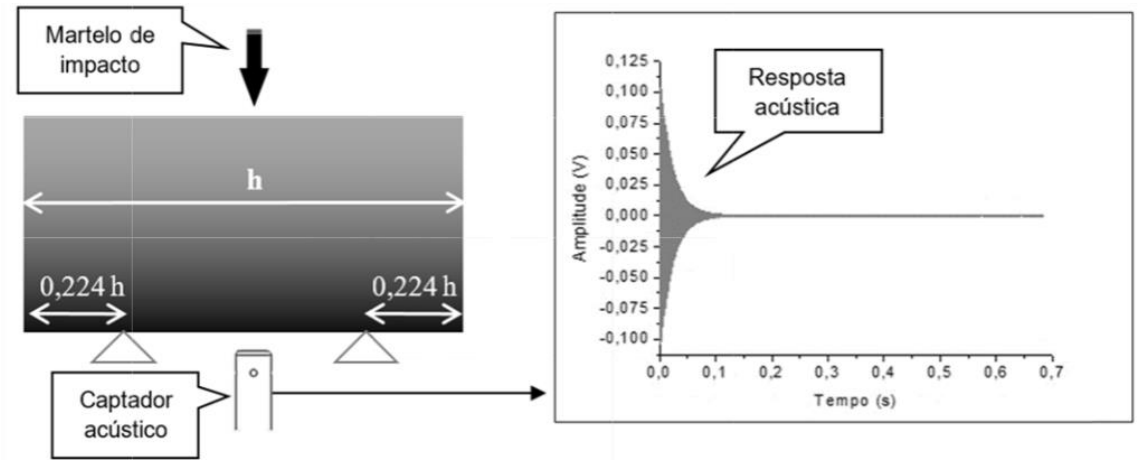
O corpo de prova então deve ser posicionado conforme a figura 13 e 14, nas posições 0,224h, com tolerância de posicionamento de ±0,01h, assim como o capacitador acústico e o martelo de impacto sejam posicionados no centro do corpo de prova. Este posicionamento é ótimo para o modo de vibração flexional fundamental, onde minimiza a excitação por outros modos de vibração.

Figura 13 - Condições de contorno mecânicas ótimas para o modo de vibração flexional fundamental

Posição do impacto e captação	Esquema de realização do ensaio
Opção 1 Excitação por cima com a captação por baixo, ambas no centro do corpo de prova ou testemunho. Cabos ou apoios na posição 0,224 *h*.	
Opção 2 Excitação por baixo com captação por cima, ambas no centro do corpo de prova ou testemunho. Cabos ou apoios na posição 0,224 *h*.	
Legenda Excitação:  Captação: 	

Fonte: ABNT NBR 8522-2:2021

Figura 14 - Ilustração da aplicação do impacto e captura da resposta acústica



Fonte: ABNT NBR 8522-2:2021

Conforme a figura 14, extraída da ABNT NBR 8522-2:2021, aplica-se um impacto único no centro do corpo de prova e assim capta-se a resposta acústica com o captador acústico. A intensidade da excitação é desprezível em corpos de prova que não sofrem solicitações mecânicas acima do limite elástico ou choques térmicos.

A resposta acústica obtida, deve ser processada via análise de frequências, para a identificação da frequência correspondente.

O módulo de elasticidade dinâmico é calculado conforme a norma ABNT NBR 8522-2:2021, seguindo a equação:

$$E_{cd} = 1,606\,7.\frac{h^3 \times m \times f_f^2}{d^4} \times T \times 10^{-9}$$ Equação 8

Onde

E_{cd} é o módulo de elasticidade dinâmico, expresso em gigapascals (GPa);

h, é a altura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d, é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

m, é a massa do corpo de prova, expressa em gramas (g);

ff, é a frequência de ressonância flexional fundamental, expressa em Hertz (Hz);

T, é o fator de correção para o modo de vibração flexional fundamental (adimensional).

Os fatores de correção são dados conforme a tabela 1, considerando o coeficiente de Poisson igual a 0,20.

Tabela 1 – Fator de correção de T em função de h/d para o coeficiente de Poisson igual a 0,20

h/d	1,94	1,95	1,96	1,97	1,98	1,99	2,00	2,01	2,02	2,03	2,04	2,05	2,06
T	2,18	2,17	2,16	2,15	2,14	2,13	2,12	2,11	2,1	2,09	2,08	2,07	2,06

O resultado do módulo de elasticidade dinâmico (E_{cd}) reportado deve ser igual à média dos resultados individuais expressos com dois algarismos significativos, expresso em gigapascals (GPa). A dispersão máxima entre um resultado individual e a média destes resultados é de 5%. Quando a dispersão máxima for superior a 5%, apresentar no relatório apenas resultados individuais ABNT NBR 8522-2:2021.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada é um estudo experimental em corpos de prova de concretos, com o intuito de analisar os valores do módulo de elasticidade estático e dinâmico, bem como a relação entre eles e da resistência a compressão.

3.1. Caracterização dos materiais

Para a confecção dos concretos utilizados na pesquisa foram caracterizados os seguintes materiais: água, cimento *Kauê* do tipo CPV – ARI-RS, areia média de dragagem da cidade de Cachoeira do Sul, britas de graduação 0 e 1, oriundos da cidade de Vera Cruz, Mineração Linha Andreas e aditivos poli funcionais.

3.2. Moldagem e cura dos corpos de prova

Foram utilizados neste estudo, 60 corpos de prova, confeccionados em cilindros de 100mm de diâmetro e de 200mm de altura. Conforme a NBR 5738 (ABNT,2015), os corpos de prova foram adensados manualmente em duas camadas, com 15 golpes de socamento em cada. Os mesmos foram mantidos em tanque de cura de concreto, com temperatura estabelecida de 23±2°C, conforme estabelecido na NBR 9479 (ABNT, 2011).

3.3. Determinação da resistência à compressão simples

Para a realização dos ensaios de determinação de resistência à compressão simples, foi utilizada a NBR 5739:2018. Os corpos de prova foram

submetidos ao ensaio de compressão simples na prensa hidráulica da marca registrada EMIC, que tem capacidade de carga de 30000N, e que permite a transmissão de cargas sobre o corpo de prova colocados entre os pratos revestidos utilizando retíficas com borracha de neoprene na direção vertical, e submetidos ao carregamento contínuo sem choques com a velocidade mantida constante (0,45 ± 0,15 MPa/s) durante todo o ensaio. A Figura 15, retrata a prensa utilizada no ensaio acima descrito.

Figura 15 - Prensa Hidráulica marca IMEC



Fonte: Autor

3.4. Determinação do Módulo de elasticidade estático

Para a realização dos ensaios de módulo de elasticidade estático, foi utilizada a NBR 8522-1:2021. Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio na prensa hidráulica da marca registrada EMIC, que tem capacidade de carga de 30000N, as deformações medidas pelos sensores conforme Figura 16 e enviadas para o software. A Figura 16, retrata a prensa utilizada no ensaio acima descrito.

Figura 16 - Prensa hidráulica utilizada para o ensaio estático



Fonte: Autor

Para a determinação de módulos estáticos de elasticidade e deformação e a curva de tensão-deformação, realizou-se a ruptura de um corpo de prova para estabelecer os níveis de carregamento que serão aplicados no ensaio.

Após o plano de carregamento, executou-se o ensaio conforme a NBR 8522-1:2021.

4. RESULTADOS

Neste capítulo apresentaremos os resultados dos ensaios do módulo de elasticidade estático e compressão simples de forma comparativa.

4.1. Concreto de 20MPa

Nos ensaios com idade de 7 dias, com CPs de relação água/cimento de 0,65, na tabela 2 pode-se observar que o desempenho do CP5 é superior aos demais, o que se confirma no gráfico 3, onde a linha de ruptura segue com mais precisão a linha de tendência, diferente dos gráficos 1 e 2.

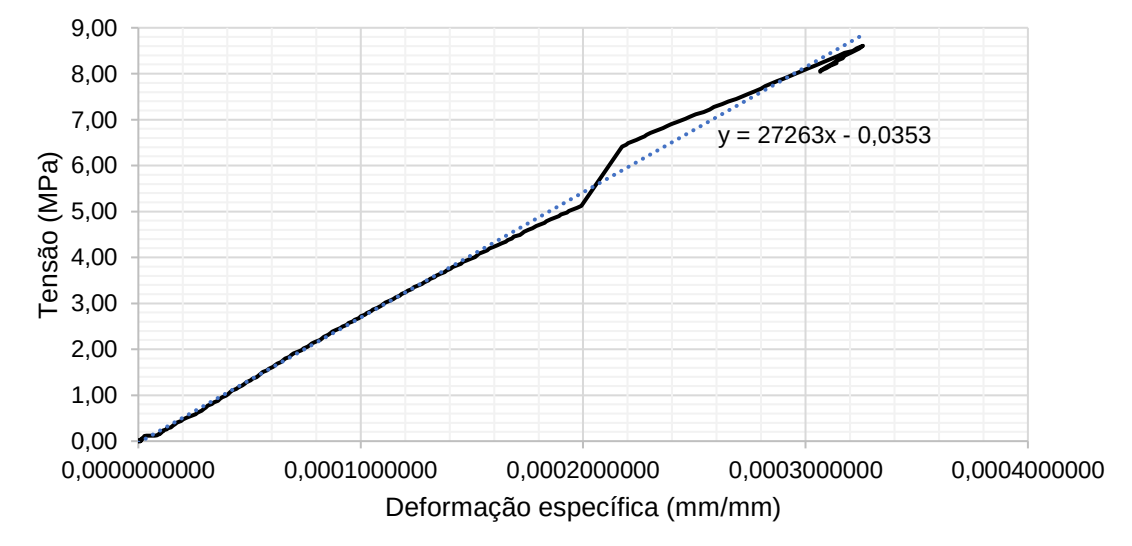
Porém, se considerar a norma onde sita que se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não devem ser utilizados para fins de cálculo, os três CPs ensaiados não atendem a esse requisito, logo foi um resultado insatisfatório.

Tabela 2 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 20MPa (7 dias)

Corpo de prova ensaiado:	**CP2**	**CP3**	**CP5**	**UN**
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	**MPa**
Deformação Inicial:	0,00002132997	0,00001387814	0,00001479514	**mm/mm**
Tensão de Referência (0,30*fc):	3,79	4,49	4,37	**MPa**
Deformação de Referência:	0,000143180000	0,000195500000	0,000152360000	**mm/mm**
Módulo de Elasticidade:	27304,90	22058,19	28255,38	**MPa**
Compressão Simples:	12,63	14,67	14,57	**MPa**
Média E_{ci}:	25872,82			**MPa**
Média f_c:	13,96			**MPa**

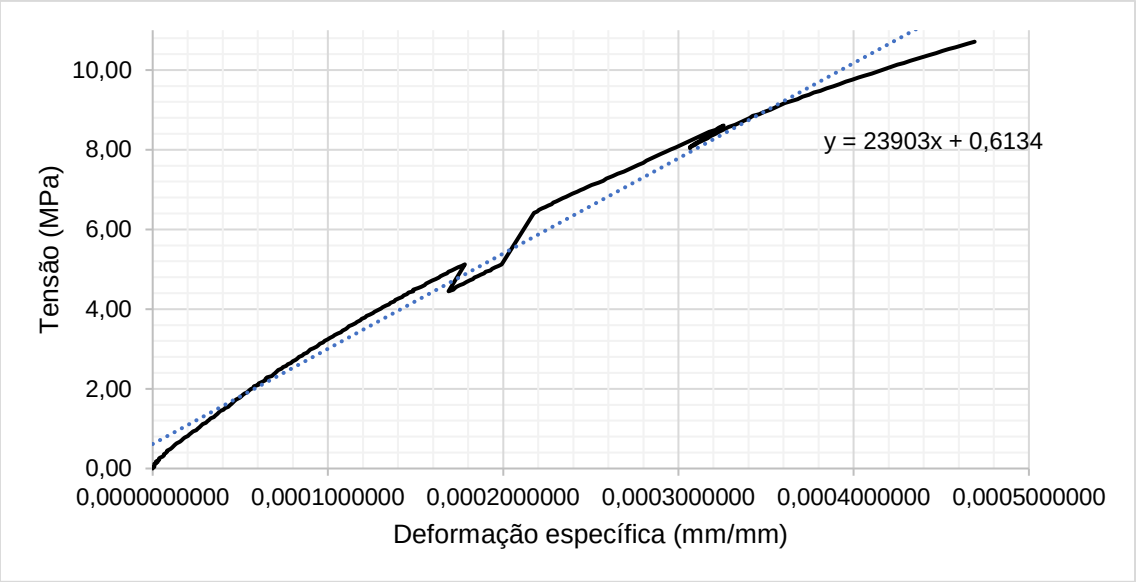
Fonte: Autor

Gráfico 1 – Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (20MPa) – 7 dias



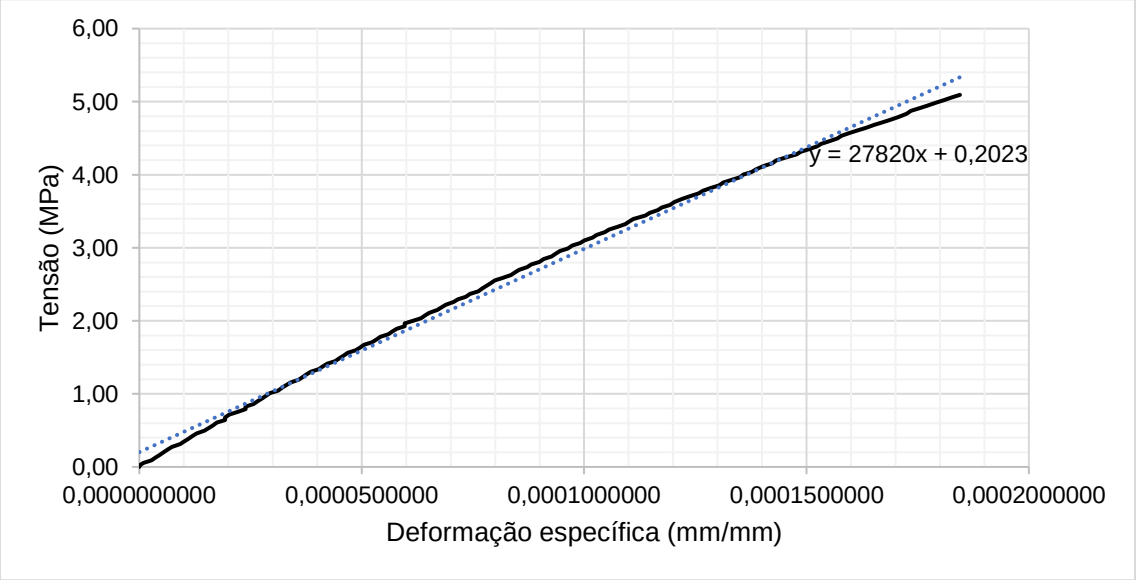
Fonte: Autor

Gráfico 2 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (20MPa) – 7 dias



Fonte: Autor

Gráfico 3- Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (20MPa) – 7 dias



Fonte: Autor

A Norma ABNT NBR 6118:2023, define um parâmetro para estimar a resistência do concreto de acordo com o tipo de cimento utilizado, para uma idade “x”, no item 12.3.3 letra b.

Utiliza-se as fórmulas abaixo:

$$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} \cong \beta_1 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$ Equação 9

E

$$\beta_1 = \exp\{s\,[\,1 - (28/t)^{1/2}\,]\}$$ Equação 10

Onde:

s = 0,20 para concretos de cimento CPV-ARI

t = é a idade efetiva do concreto, expressa em dias.

Realiza-se o cálculo, com o cimento utilizado CPV-ARI, obtem-se os seguintes resultados:

t = 7 dias

β1 = exp { s [1 - (28/7)^1/2] }

β1 = 0,81873

t = 14 dias

β1 = exp { s [1 - (28/14)^1/2] }

β1 = 0,9205

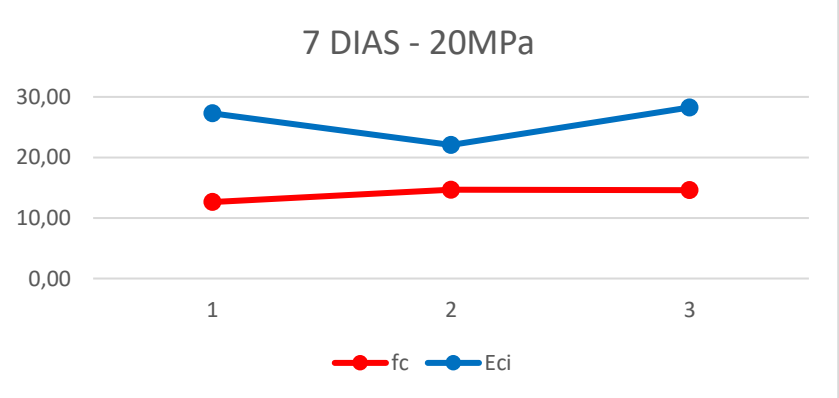
t = 21 dias

β1 = exp { s [1 - (28/21)^1/2] }

β1 = 0,96953

No caso do concreto de 20 MPa, com 7 dias estima-se normativamente de acordo com o tipo de cimento utilizado e a idade do concreto e o resultado do cálculo realizado acima, que ele atinja 82% da resistência final, ou seja 16 MPa, o que não ocorreu neste primeiro ensaio.

Gráfico 4 - Comparativo $E_{ci,\,exp}$ e f_c - 20 MPa - 7 dias



Fonte: Autor

No caso do concreto de 20 MPa, com 21 dias se estima normativamente de acordo com o tipo de cimento utilizado e a idade do concreto e o resultado do cálculo realizado conforme a equação 10, que ele atinja 97% da resistência final, ou seja 19 MPa, conforme pode-se observar na tabela 3, o concreto atendeu a expectativa para a idade.

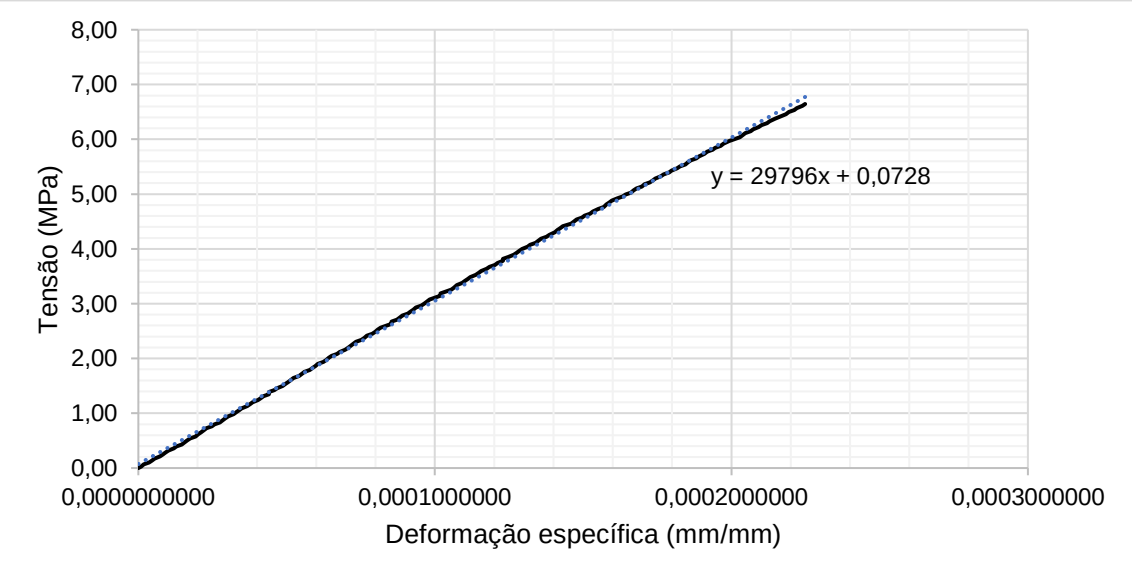
Considera-se a norma onde sita que se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20, os três CPs ensaiados não atendem a esse requisito, logo foi um resultado insatisfatório, tendo uma diferença superior a 10 MPa entre os dois ensaios.

Tabela 3 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 20MPa (21 dias)

Corpo de prova ensaiado:	**CP2**	**CP3**	**CP4**	**UN**
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	**MPa**
Deformação Inicial:	0,00001640156	0,00004646098	0,00001181256	**mm/mm**
Tensão de Referência (0,30*fc):	5,81	5,93	5,69	**MPa**
Deformação de Referência:	0,000193660000	0,000198250000	0,000183570000	**mm/mm**
Módulo de Elasticidade:	29953,65	35886,49	30325,15	**MPa**
Compressão Simples:	19,37	19,76	18,95	**MPa**
Média E_{ci}:	32055,10			**MPa**
Média f_c:	19,36			**MPa**

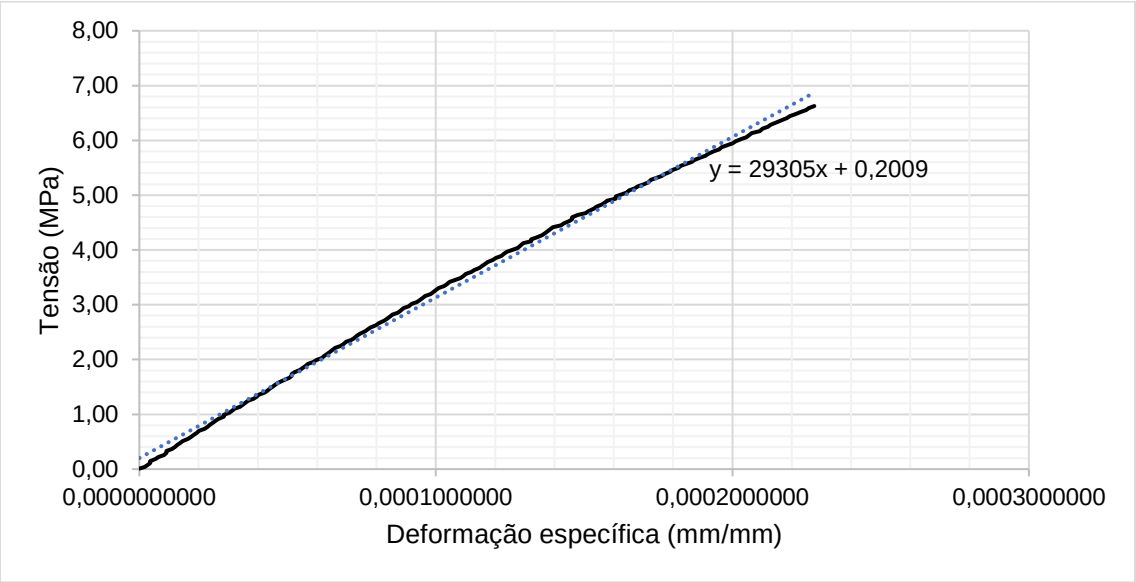
Fonte: Autor

Gráfico 5 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (20MPa) – 21 dias



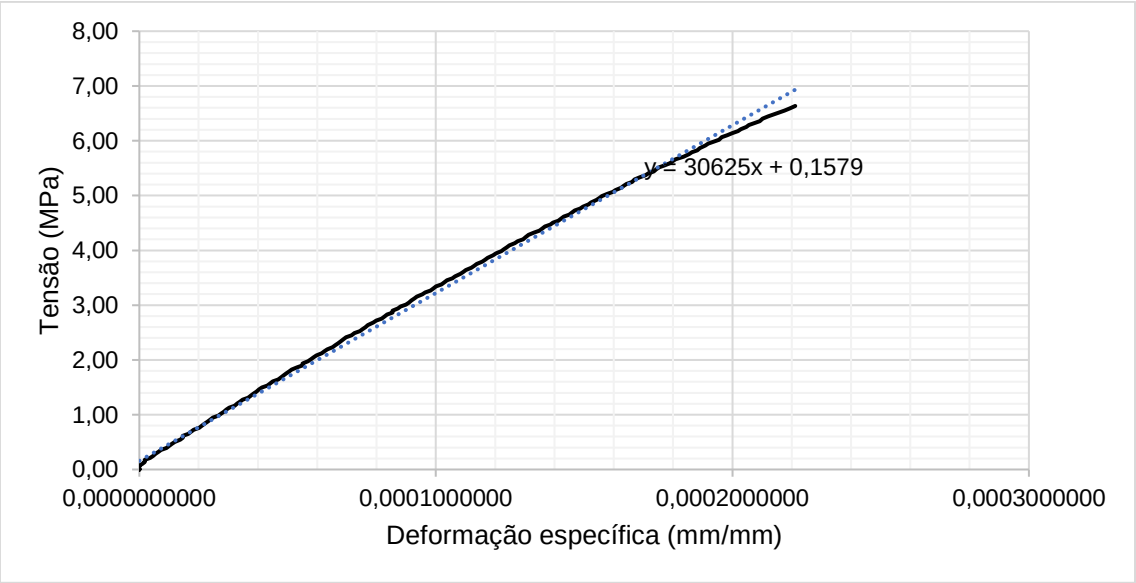
Fonte: Autor

Gráfico 6- Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (20MPa) – 21 dias



Fonte: Autor

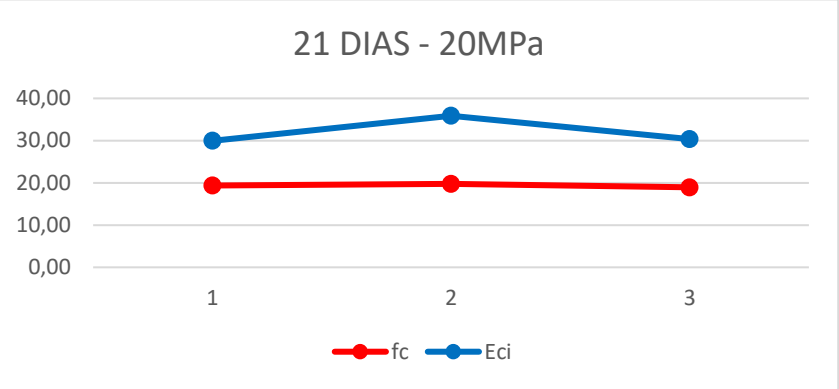
Gráfico 7 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (20MPa) – 21 dias



Fonte: Autor

No gráfico 8, podemos observar a discrepância entre o ensaio de f_c e de $E_{ci,\ exp}$ e à similaridade nos resultados de f_c.

Gráfico 8 - Comparativo $E_{ci,\,exp}$ e f_c - 20 MPa -21 dias



Fonte: Autor

Na tabela 4, onde os ensaios foram realizados com 28 dias, observa-se que o desempenho do CPs, foram similares aos ensaios de 21 dias, tanto na compressão simples quanto no módulo estático.

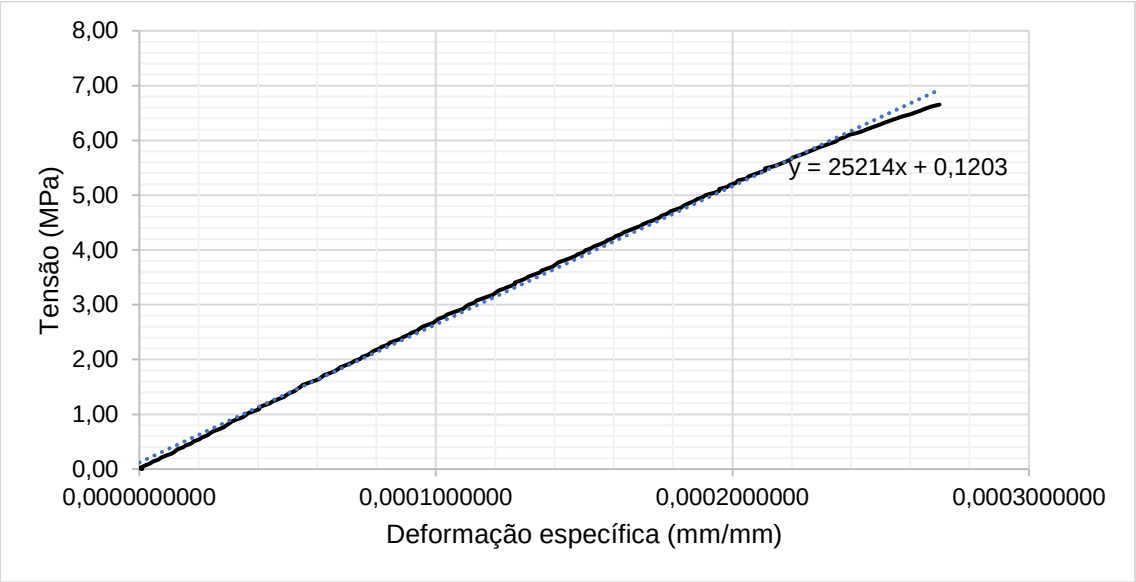
Considera-se a norma onde sita que se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20, os três CPs ensaiados não atendem a esse requisito, logo foi um resultado insatisfatório.

Tabela 4 - Comparativo entre $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 20MPa (28 dias)

Corpo de prova ensaiado:	**CP2**	**CP3**	**CP5**	**UN**
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	**MPa**
Deformação Inicial:	0,00001456569	0,00001306997	0,00001306997	**mm/mm**
Tensão de Referência (0,30*fc):	5,95	5,86	5,86	**MPa**
Deformação de Referência:	0,000194580000	0,000167960000	0,000189990000	**mm/mm**
Módulo de Elasticidade:	30361,53	30020,29	30425,47	**MPa**
Compressão Simples:	20,36	19,83	19,52	**MPa**
Média E_{ci}:	30269,10			**MPa**
Média f_c:	19,90			**MPa**

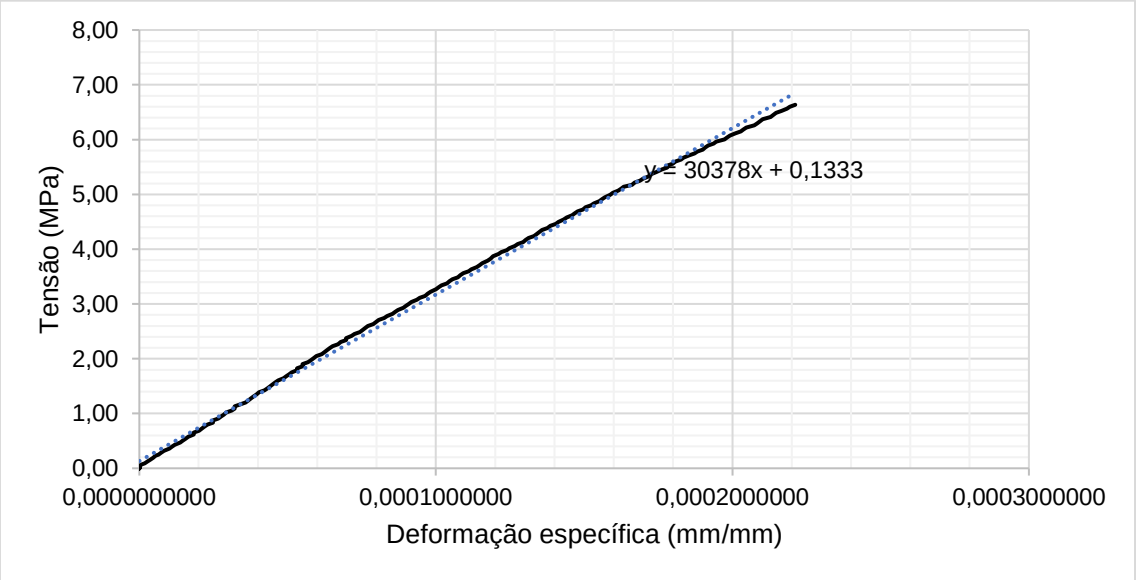
Fonte: Autor

Gráfico 9 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (20MPa) – 28 dias



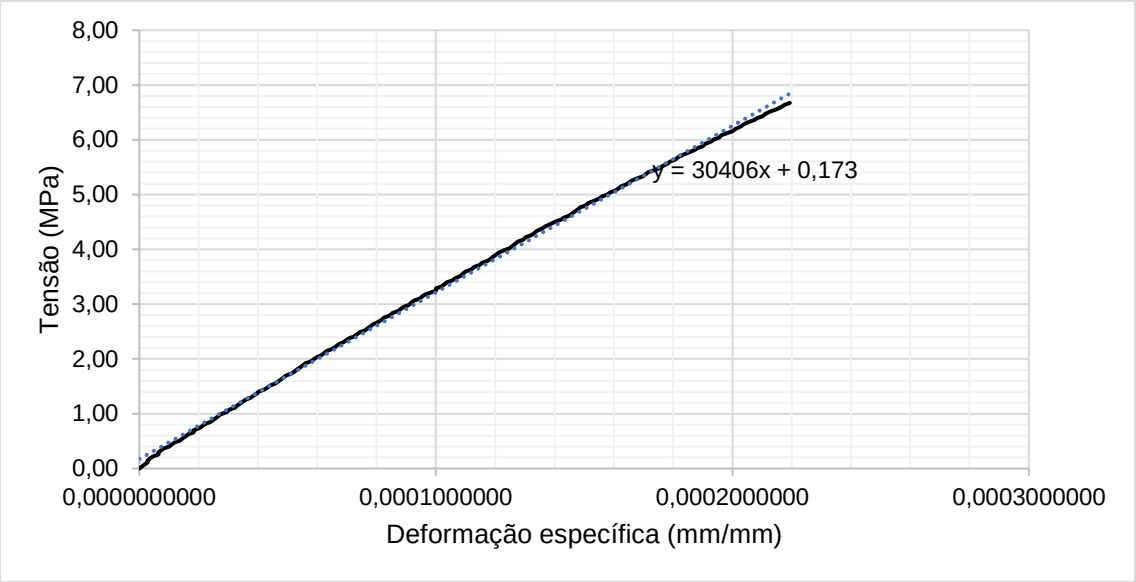
Fonte: Autor

Gráfico 10 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (20MPa) – 28 dias



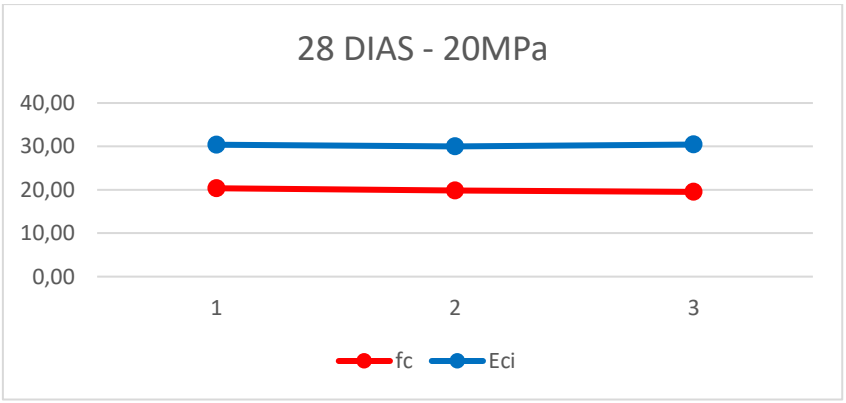
Fonte: Autor

Gráfico 11 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (20MPa) – 28 dias



Fonte: Autor

Gráfico 12 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c - 20 MPa -28 dias



Fonte: Autor

No ensaio de compressão simples o concreto já estava atingindo a resistência esperada com 21 dias, mas na linha de tendência para 28 dias, a mesma ficou estagnada nos dois modos de ensaios, onde não teve aumento significativo em nenhum dos dois.

O concreto pela estimativa de resistência x idade, deveria atingir o f_{ck} de projeto, porém, como pode-se observar na tabela 4, o mesmo não atingiu.

No contexto geral, os corpos de prova de 20 MPa, ensaiados com 7, 21 e 28 dias de idade, não atenderam a norma ABNT NBR 8522-1:2021, no item

7.3.2.4, onde “Se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não podem ser considerados no cálculo”.

Quando não forem realizados ensaios de E_{ci}, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade utilizando a expressão:

$$E_{ci,est} = \alpha_e\ 5600\ \sqrt{f_c} \qquad \text{Equação 11}$$

Realizando o cálculo, com o f_c de 19,90MPa, e o αe=1,2, dado referido ao basalto, conforme a ABNT NBR 6118:2023 obteve-se o resultado de $E_{ci,est}$ = 29977,53 MPa.

Para fins comparativos, o módulo estimado ficou inferior ao valor real obtido em média $E_{ci,exp}$ = 30269,10 MPa.

Pela equação 11, pode-se definir α_e experimental, como:

$$\alpha_{e,\ exp} = E_{ci,exp} / 5600\sqrt{f_c} \qquad \text{Equação 12}$$

Assim, encontra-se um novo valor para o $\alpha_{e,\ exp}$ de 1,21.

4.2. Concreto de 30MPa

Na tabela 5, com CPs de relação água/cimento de 0,55, com idade de 7 dias, podemos observar que, exceto o CP5 que teve um resultado mais elevado no $E_{ci,\ exp}$, o restante dos CPs se manteve similares. Levando-se em consideração a norma que se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, onde os resultados não devem ser considerados, deve-se abster o resultado do CP5, onde não atende, passando da porcentagem aceitável para ser considerado, tal fato, se confirma na planilha 16, onde tem-se um gráfico comparativo. Na média geral, os CPs atenderam a norma.

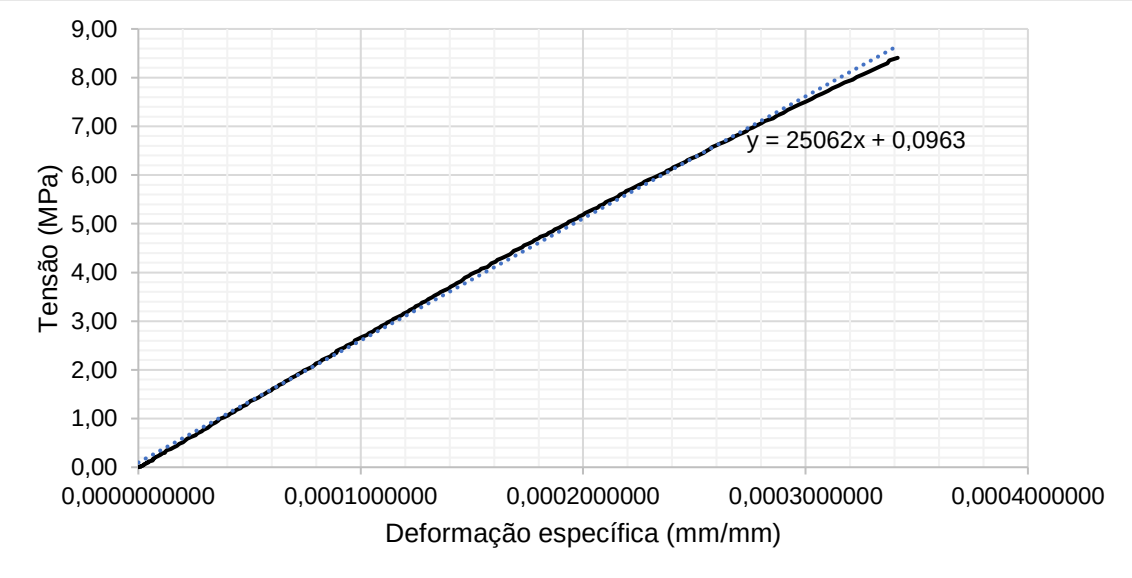
No caso do concreto de 30 MPa, com 7 dias estima-se normativamente de acordo com o tipo de cimento utilizado e a idade do concreto e o resultado do cálculo conforme a equação 10, que ele atinja 82% da resistência final, ou seja 24 MPa. Os ensaios afirmam que ele atingiu a resistência esperada para a idade.

Tabela 5 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30MPa (7 dias)

Corpo de prova ensaiado:	CP2	CP3	CP5	UN
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	MPa
Deformação Inicial:	0,00001949435	0,00002053161	0,00001502461	mm/mm
Tensão de Referência (0,30*fc):	7,33	7,25	7,33	MPa
Deformação de Referência:	0,000291870000	0,000272600000	0,000230380000	mm/mm
Módulo de Elasticidade:	25086,56	26889,39	31942,23	MPa
Compressão Simples:	24,43	24,17	24,44	MPa
Média E_{ci}:	27972,73			MPa
Média f_c:	24,35			MPa

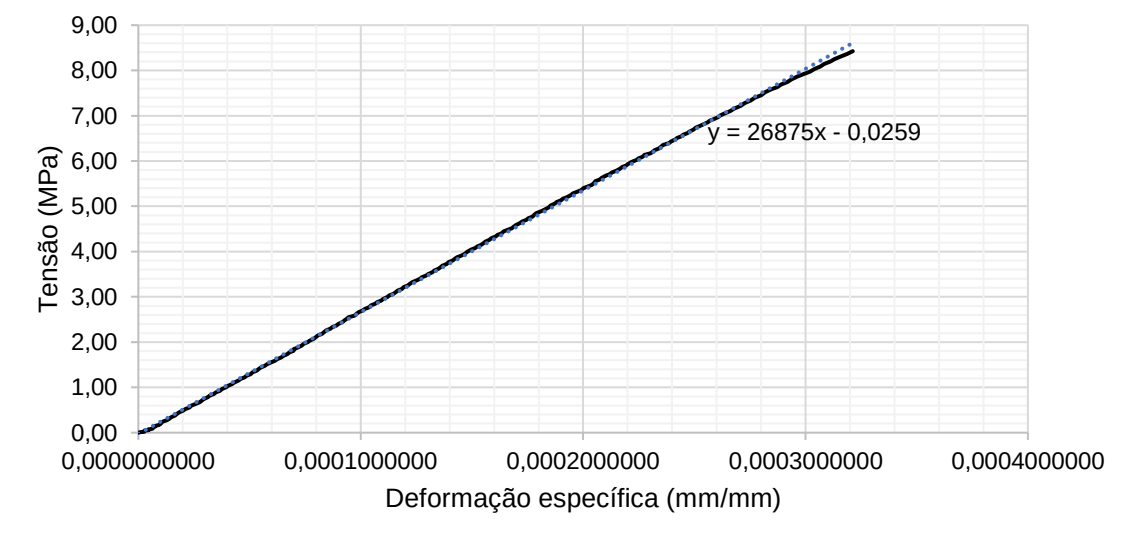
Fonte: Autor

Gráfico 13 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (30MPa) – 07 dias



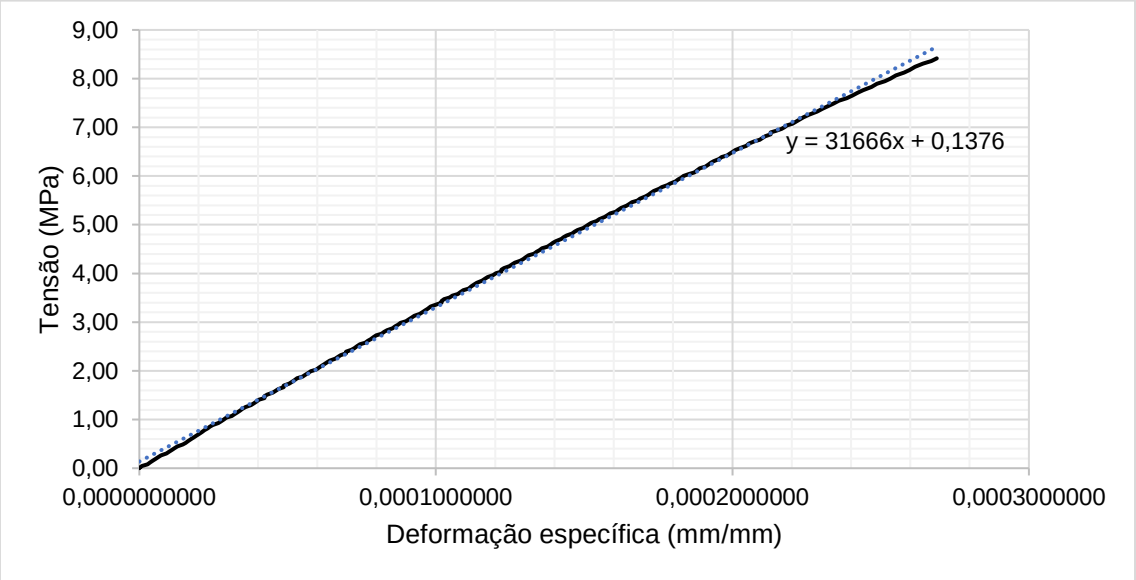
Fonte: Autor

Gráfico 14 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (30MPa) – 07 dias



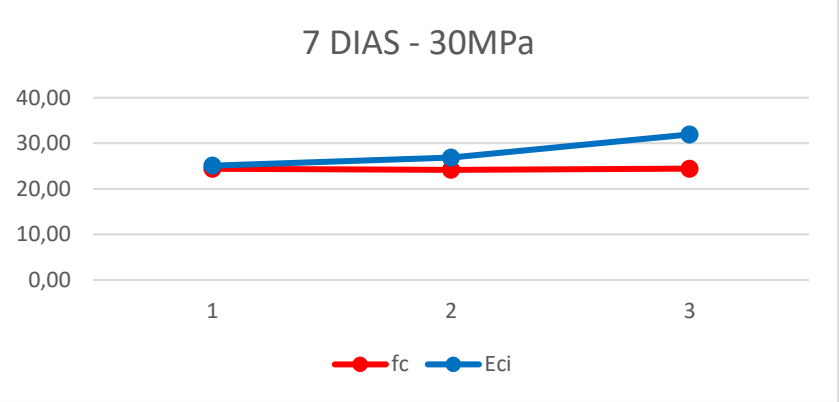
Fonte: Autor

Gráfico 15 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (30MPa) – 07 dias



Fonte: Autor

Gráfico 16 - Comparativo $E_{ci,\,exp}$ e f_c – 30 MPa -07 dias



Fonte: Autor

Na tabela 6, com CPs de relação água/cimento de 0,55, com idade de 14 dias, pode-se observar que na compressão simples os resultados mantiveram-se similares nos CP4 e CP5. No ensaio de módulo estático os resultados permaneceram destintos e atendendo o $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, em todos os CPs, logo atende, na média geral também.

Para concretos de 30 MPa, com 14 dias estima-se normativamente de acordo com o tipo de cimento utilizado e a idade do concreto e o resultado do cálculo conforme a equação 10, que ele atinja 92% da resistência final, ou seja 27 MPa. Os ensaios afirmam que em dois CP´s, o resultado foi atingido, porém,

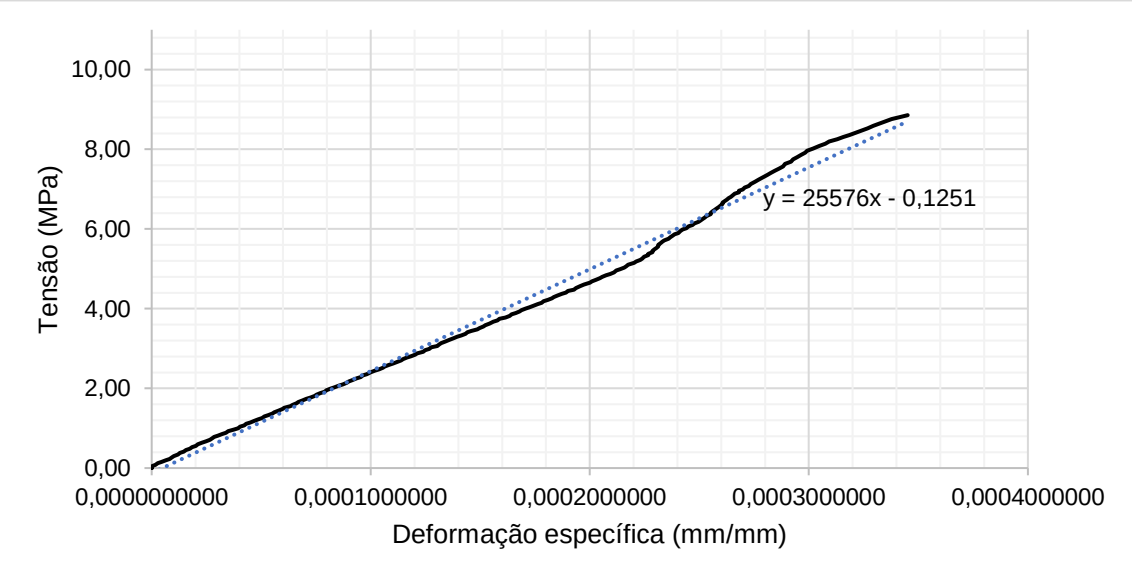
como houve um resultado inferior, a média geral ficou mais baixa, não atingindo o esperado.

Tabela 6 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30MPa (14 dias)

Corpo de prova ensaiado:	**CP3**	**CP4**	**CP5**	**UN**
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	**MPa**
Deformação Inicial:	0,00001777861	0,00001341898	0,00001296014	**mm/mm**
Tensão de Referência (0,30*fc):	7,57	8,15	8,15	**MPa**
Deformação de Referência:	0,000288200000	0,000270760000	0,000248730000	**mm/mm**
Módulo de Elasticidade:	26150,20	29726,62	32563,03	**MPa**
Compressão Simples:	25,23	27,15	27,16	**MPa**
Média E_{ci}:	29479,95			**MPa**
Média f_c:	26,51			**MPa**

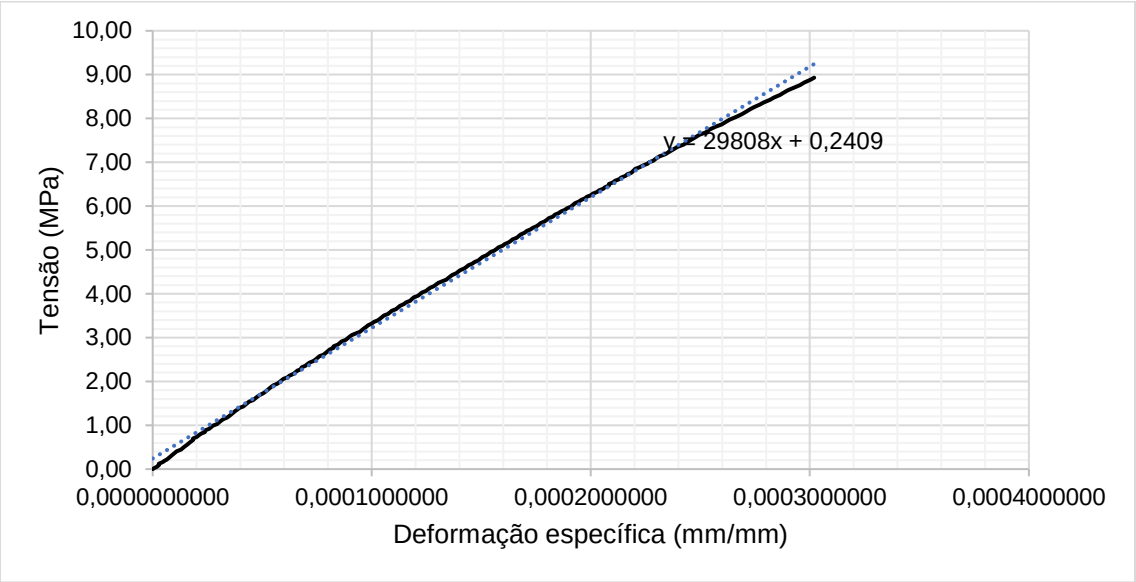
Fonte: Autor

Gráfico 17 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (30MPa) – 14 dias



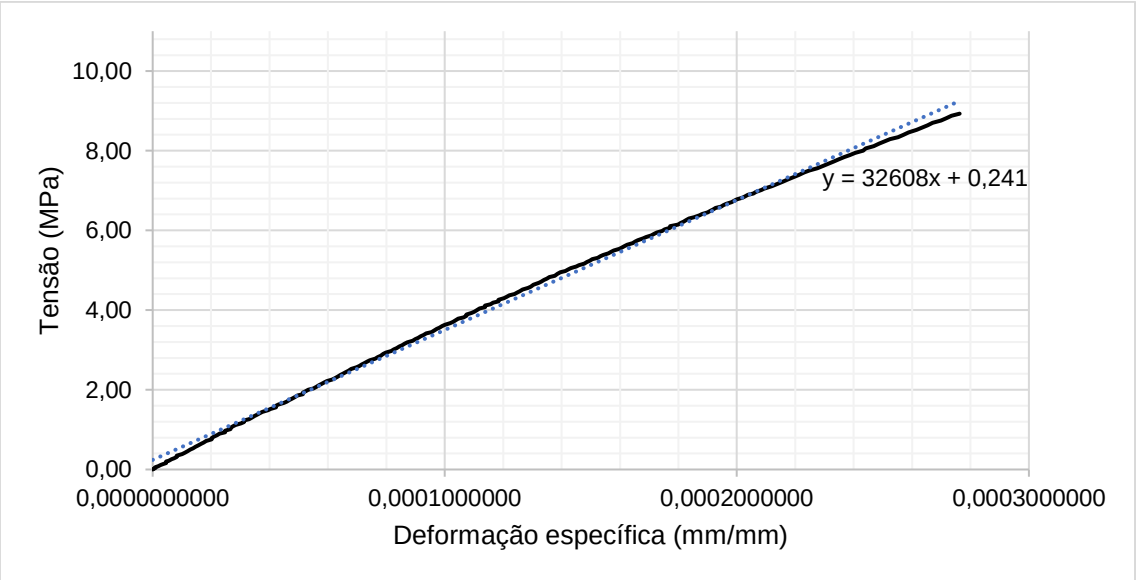
Fonte: Autor

Gráfico 18 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (30MPa) – 14 dias



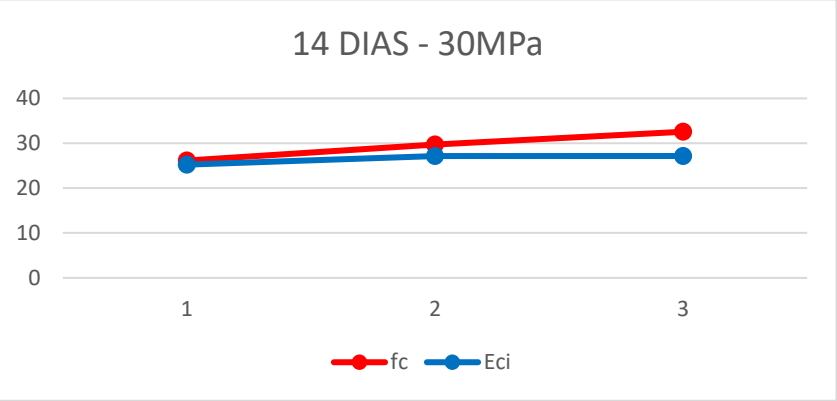
Fonte: Autor

Gráfico 19 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (30MPa) – 14 dias



Fonte: Autor

Gráfico 20 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30 MPa - 14 dias



Fonte: Autor

Na tabela 7, com CPs de relação água/cimento de 0,55, com idade de 21 dias, os CP2 e CP4 tiveram resultados satisfatórios, tanto atendendo os 20% máximos de diferença entre os ensaios, quanto no esperado de resistência para a idade, que conforme a normativa, seriam 29 MPa. O CP5 se manteve na média no resultado de f_c, porém no $E_{ci,\ exp}$ teve um aumento demasiado.

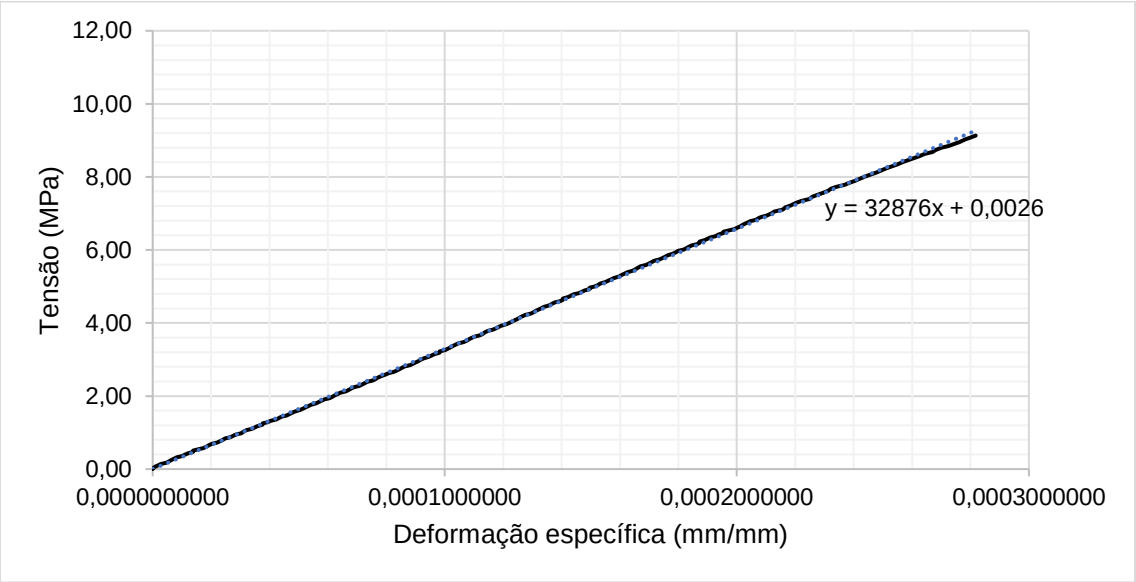
Na média geral, os CPs atenderam a norma, sem deferimento superior a 20%, podendo ser considerados para fins de cálculo.

Tabela 7 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30MPa (21 dias)

Corpo de prova ensaiado:	**CP2**	**CP4**	**CP5**	**UN**
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	**MPa**
Deformação Inicial:	0,00001352926	0,00000003133	0,00000928852	**mm/mm**
Tensão de Referência (0,30*fc):	9,47	8,85	9,08	**MPa**
Deformação de Referência:	0,000281780000	0,000256080000	0,000226710000	**mm/mm**
Módulo de Elasticidade:	32178,11	32708,08	39447,79	**MPa**
Compressão Simples:	31,58	29,49	30,27	**MPa**
Média E_{ci}:	34777,99			**MPa**
Média f_c:	30,45			**MPa**

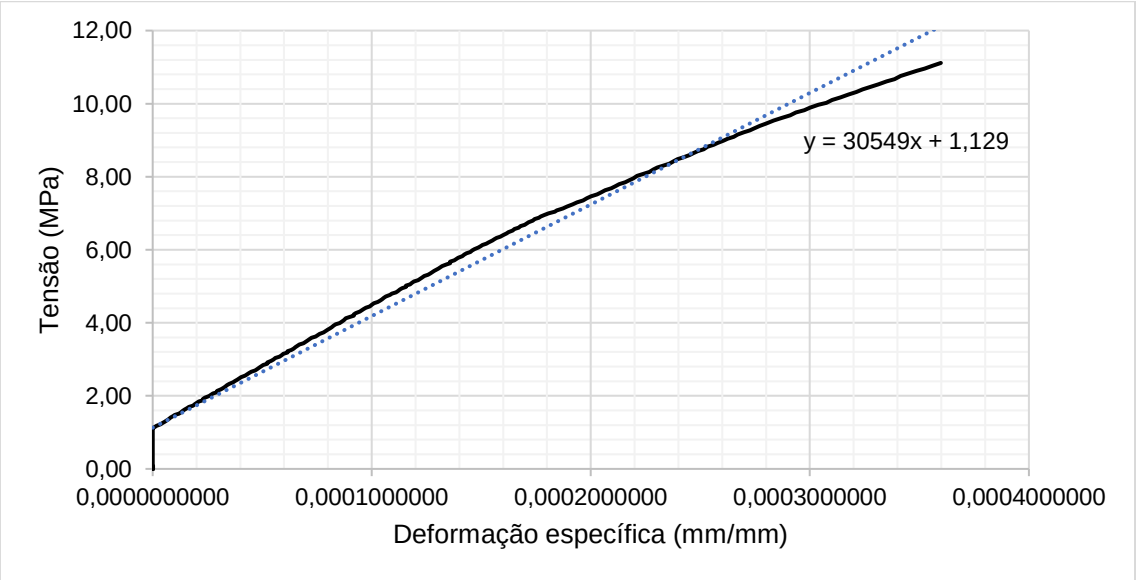
Fonte: Autor

Gráfico 21 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (30MPa) – 21 dias



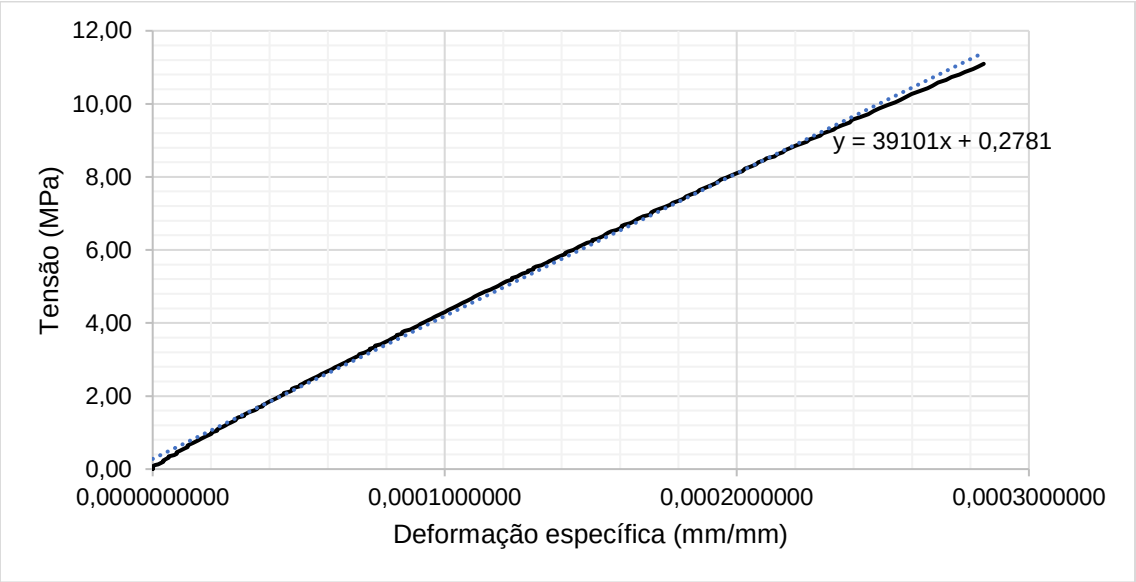
Fonte: Autor

Gráfico 22 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (30MPa) – 21 dias



Fonte: Autor

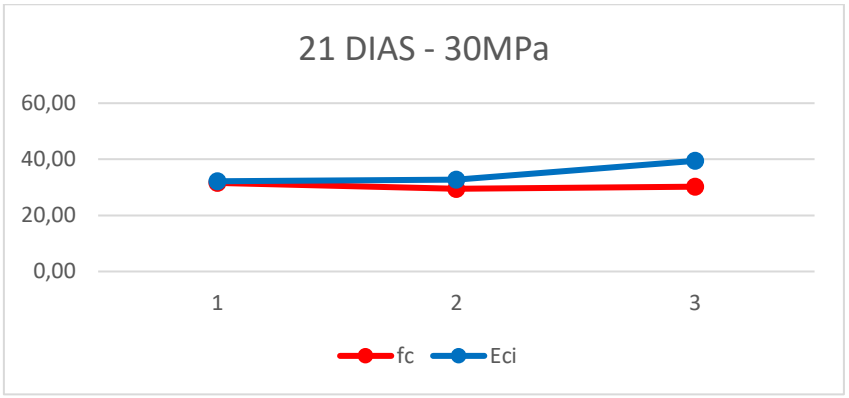
Gráfico 23 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (30MPa) – 21 dias



Fonte: Autor

Conforme relatado anteriormente, o CP5 teve um resultado superior, como observado na planilha 24.

Gráfico 24 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30 MPa - 21 dias



Fonte: Autor

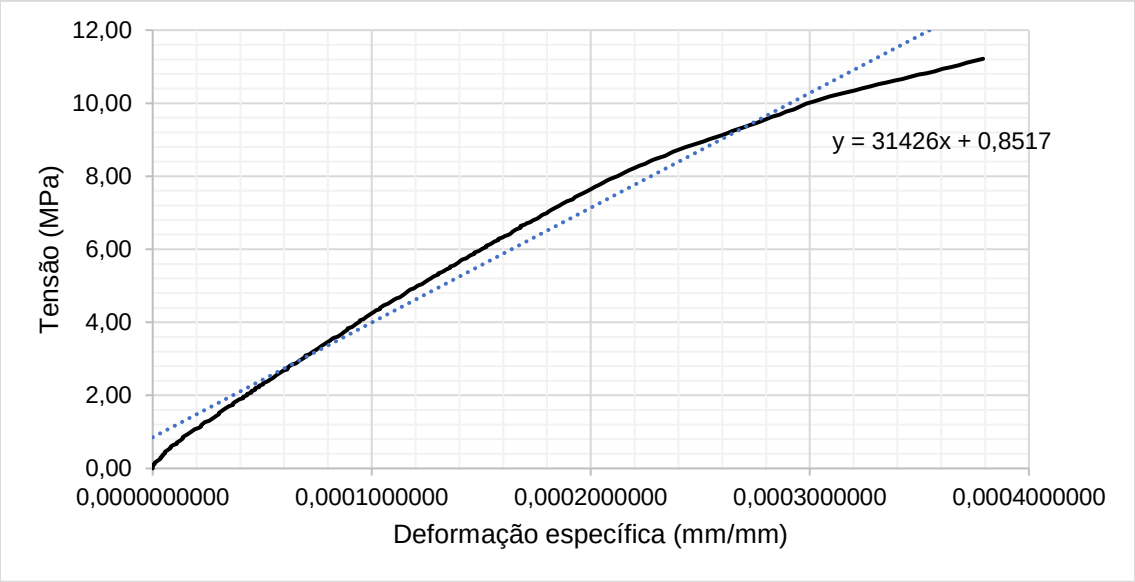
Na tabela 10, com CPs de relação água/cimento de 0,55, com idade de 28 dias, os 3 CPs ensaiados tiveram resultados satisfatórios, atendendo os 20% máximos de diferença entre os ensaios, porém o CP3 não teve a resistência para a idade, mas, na média geral, os resultados foram adequados e dentro do esperado.

Tabela 8 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30MPa (28 dias)

Corpo de prova ensaiado:	CP2	CP3	CP5	UN
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	MPa
Deformação Inicial:	0,00000676443	0,00001089456	0,00001273056	mm/mm
Tensão de Referência (0,30*fc):	9,56	8,50	7,98	MPa
Deformação de Referência:	0,000282690000	0,000229460000	0,000244150000	mm/mm
Módulo de Elasticidade:	33079,48	36805,71	32302,58	MPa
Compressão Simples:	31,87	28,32	30,39	MPa
Média E_{ci}:	34062,59			MPa
Média f_c:	30,19			MPa

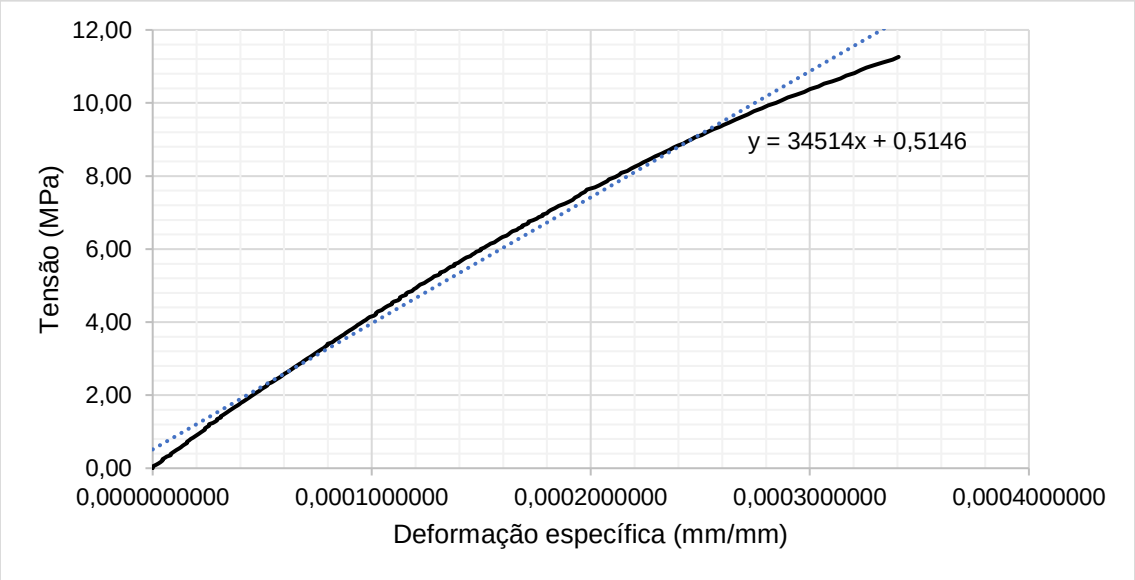
Fonte: Autor

Gráfico 25 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (30MPa) – 28 dias



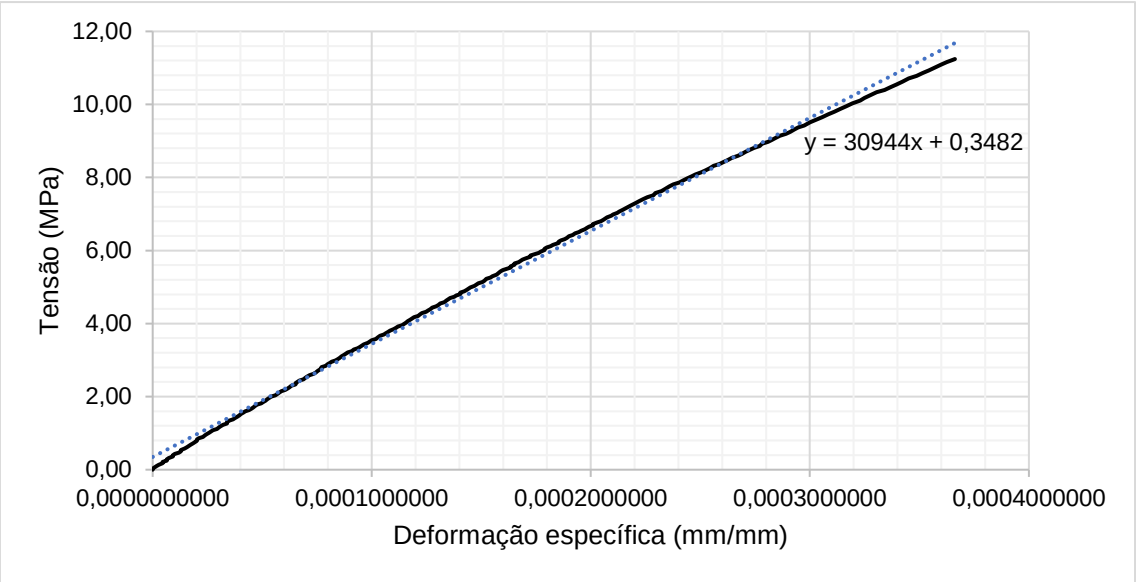
Fonte: Autor

Gráfico 26 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (30MPa) – 28 dias



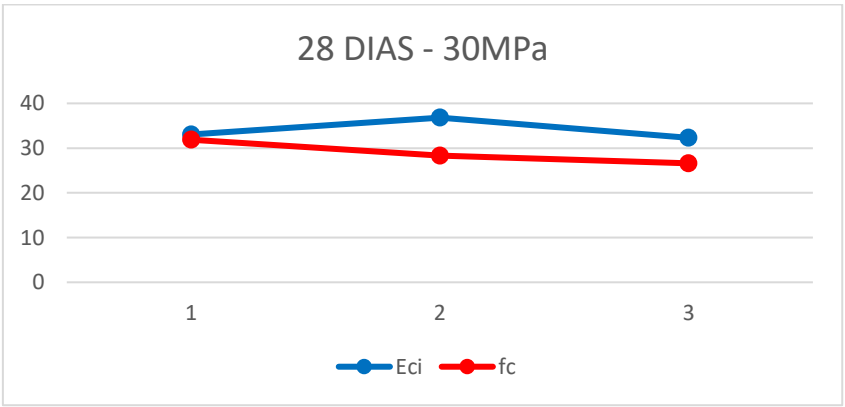
Fonte: Autor

Gráfico 27 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (30MPa) – 28 dias



Fonte: Autor

Gráfico 28 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 30 MPa - 28 dias



Fonte: Autor

O concreto de 30 MPa teve um resultado diferente do concreto de 20MPa, onde em todas as idades, o mesmo obteve sucesso atendendo a norma ABNT NBR 8522-1:2021, no item 7.3.2.4, onde “Se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não podem ser considerados no cálculo” e atingindo a resistência esperada para 28 dias.

Utiliza-se a equação 11, para estimar o valor do E_{ci}, com o f_c de 30,19MPa, e o αe=1,2, dado referido ao basalto, conforme a ABNT NBR 6118:2023 obteve-se o resultado de $E_{ci,est}$ =36923,33 MPa.

Para fins comparativos, o módulo estimado ficou superior ao valor real obtido em média $E_{ci,exp}$ = 34062,59 MPa.

Pela equação 11, pode-se definir também o $\alpha_{e,\ exp}$ de 1,10.

4.3. Concreto de 40MPa

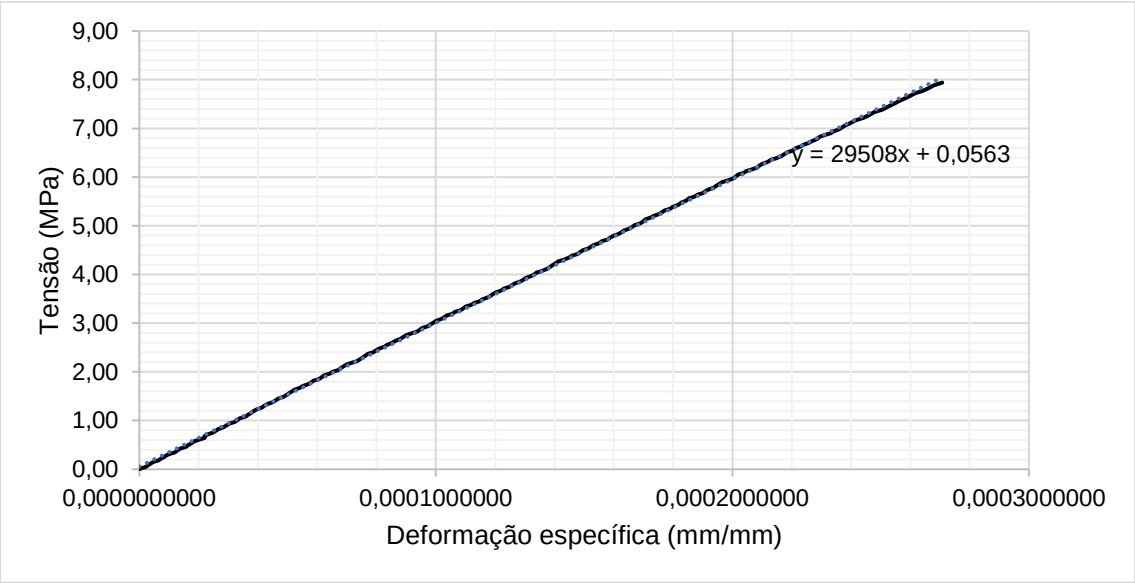
Na tabela 09, com CPs de relação água/cimento de 0,45, com idade de 07 dias, todos os CPs na média geral, atenderam a diferença de 20%, porém, esperava-se uma resistência de 82% para a idade, ou seja, 32MPa, o que não se obteve.

Tabela 9 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40MPa (7 dias)

Corpo de prova ensaiado:	**CP2**	**CP3**	**CP5**	**UN**
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	**MPa**
Deformação Inicial:	0,00001663114	0,00001777861	0,00001708998	**mm/mm**
Tensão de Referência (0,30*fc):	7,09	7,46	7,28	**MPa**
Deformação de Referência:	0,000239560000	0,000295540000	0,000277190000	**mm/mm**
Módulo de Elasticidade:	29621,70	25062,66	26094,32	**MPa**
Compressão Simples:	23,63	24,86	24,26	**MPa**
Média E_{ci}:	26926,22			**MPa**
Média f_c:	24,25			**MPa**

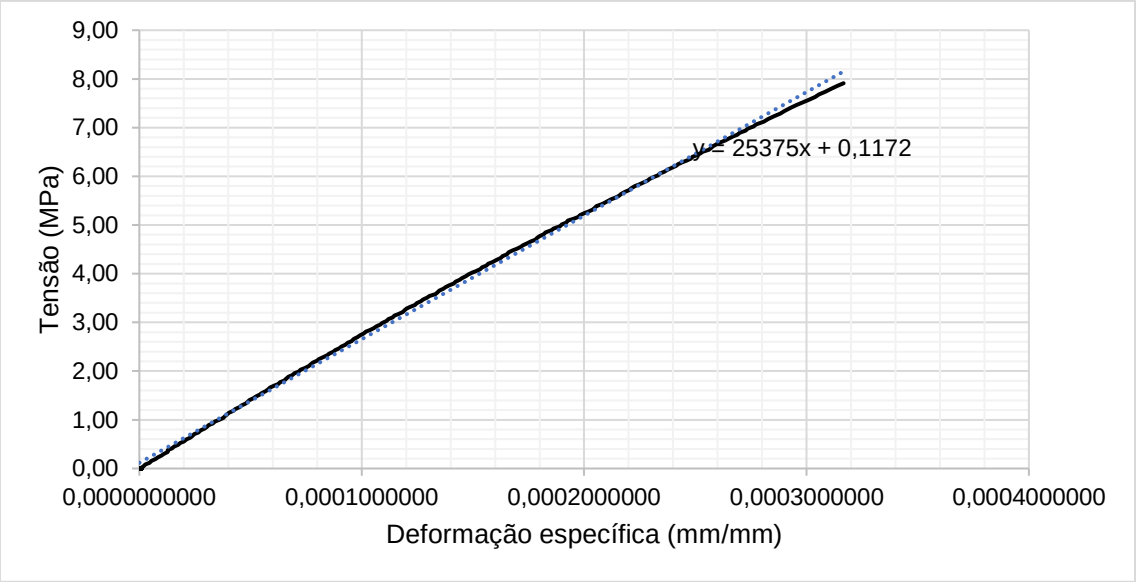
Fonte: Autor

Gráfico 29 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (40MPa) – 07 dias



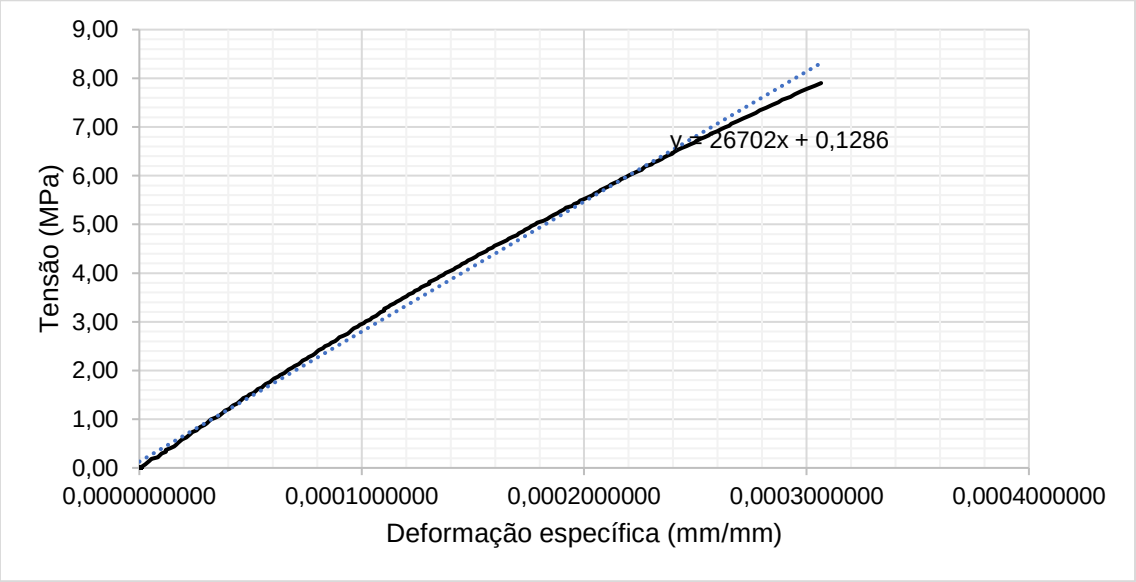
Fonte: Autor

Gráfico 30 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (40MPa) – 07 dias



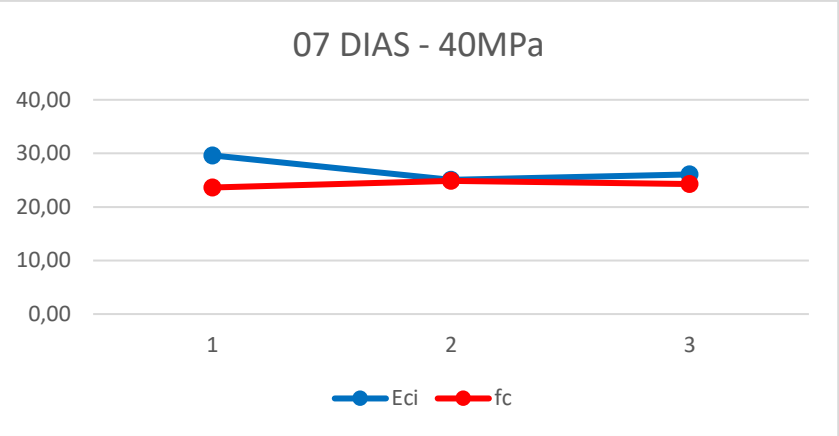
Fonte: Autor

Gráfico 31 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (40MPa) – 07 dias



Fonte: Autor

Gráfico 32 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40 MPa - 07 dias



Fonte: Autor

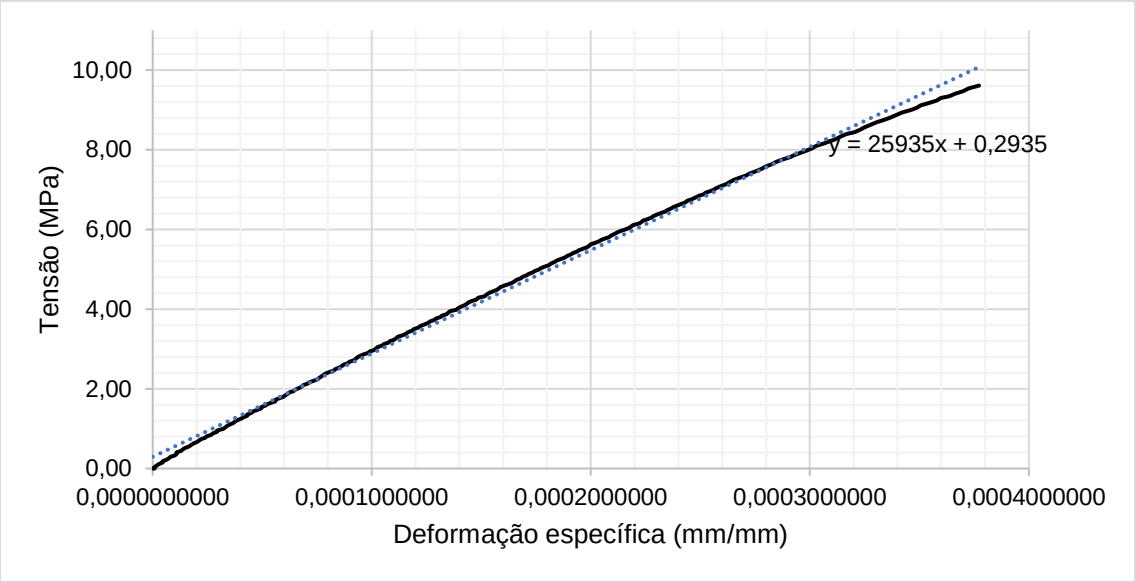
Na tabela 10, com CPs de relação água/cimento de 0,45, com idade de 14 dias, todos os corpos de prova ensaiados tiveram resultados satisfatórios atendendo a norma de $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, porém, o CP3 não demonstrou um avanço em relação a resistência, quando em média, baixa o valor de referência para idade, que deveria ser 92%, ou seja, 36 MPa, ficando quase 10MPa abaixo.

Tabela 10 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40MPa (14 dias)

Corpo de prova ensaiado:	**CP3**	**CP4**	**CP5**	**UN**
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	**MPa**
Deformação Inicial:	0,00001433636	0,00000985746	0,00000928852	**mm/mm**
Tensão de Referência (0,30*fc):	7,57	8,32	8,81	**MPa**
Deformação de Referência:	0,000279940000	0,000243230000	0,000255160000	**mm/mm**
Módulo de Elasticidade:	26659,53	33684,26	33987,38	**MPa**
Compressão Simples:	25,23	27,73	29,35	**MPa**
Média E_{ci}:	31443,72			**MPa**
Média f_c:	27,44			**MPa**

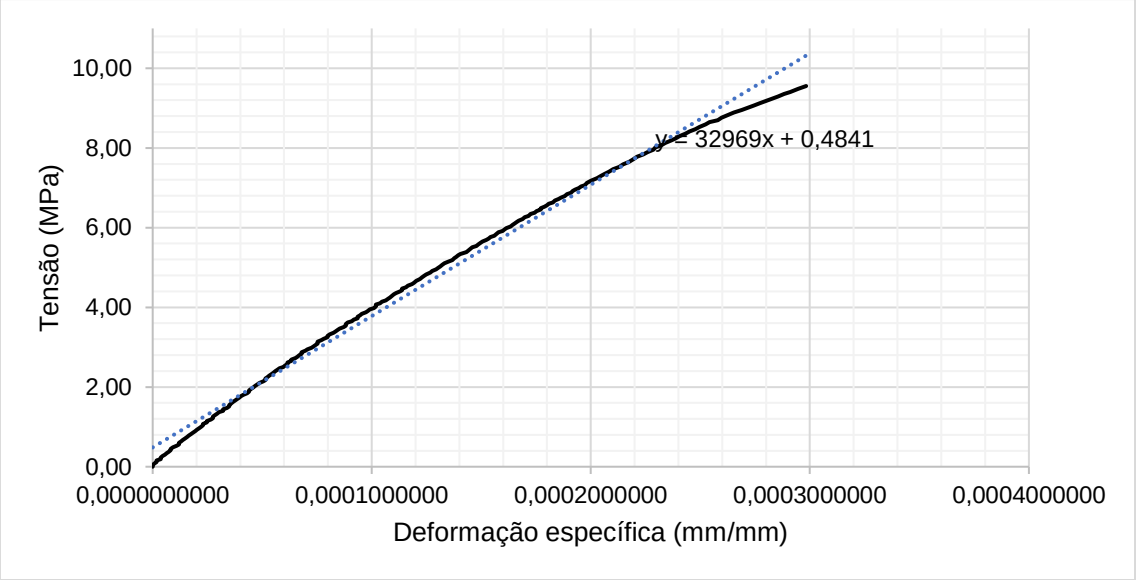
Fonte: Autor

Gráfico 33 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (40MPa) – 14 dias



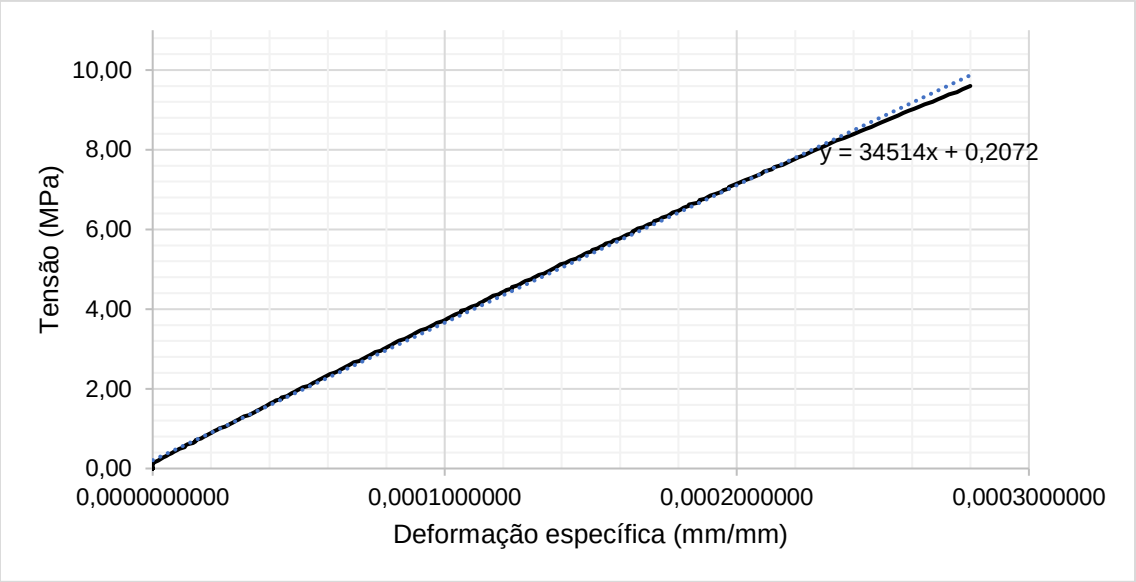
Fonte: Autor

Gráfico 34 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (40MPa) – 14 dias



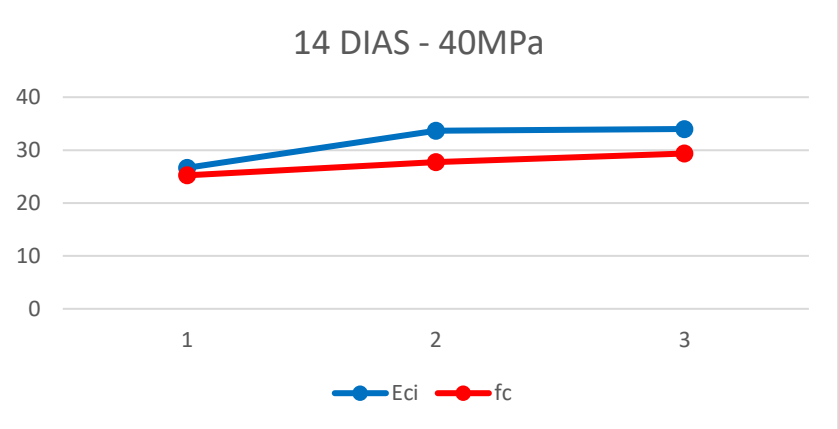
Fonte: Autor

Gráfico 35 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (40MPa) – 14 dias



Fonte: Autor

Gráfico 36 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40 MPa - 14 dias



Fonte: Autor

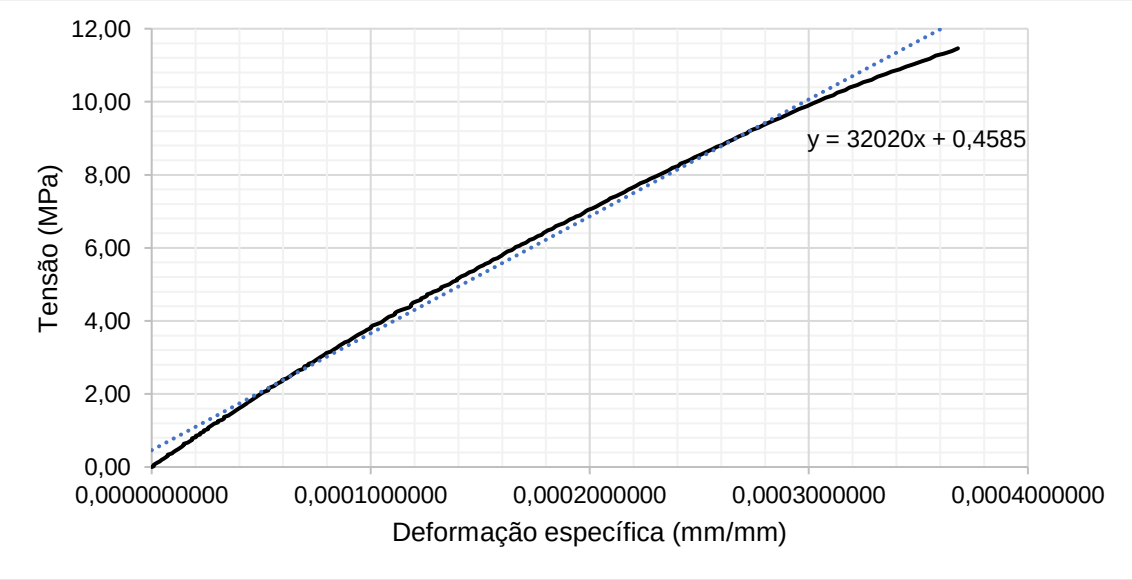
Na tabela 11, com CPs de relação água/cimento de 0,45, com idade de 21 dias, todos os corpos de prova ensaiados tiveram resultados satisfatórios atendendo a norma de $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, porém como relatado anteriormente, na idade de 14 dias, a resistência novamente não teve um avanço esperado na curva de resistência que seria no mínimo 38MPa.

Tabela 11 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40MPa (21dias)

Corpo de prova ensaiado:	CP2	CP3	CP5	UN
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	MPa
Deformação Inicial:	0,00001227161	0,00001215229	0,00000561713	mm/mm
Tensão de Referência (0,30*fc):	8,68	9,12	9,08	MPa
Deformação de Referência:	0,000256080000	0,000271680000	0,000248730000	mm/mm
Módulo de Elasticidade:	33672,85	33224,33	35354,49	MPa
Compressão Simples:	28,94	30,39	30,27	MPa
Média E_{ci}:	34083,89			MPa
Média f_c:	29,87			MPa

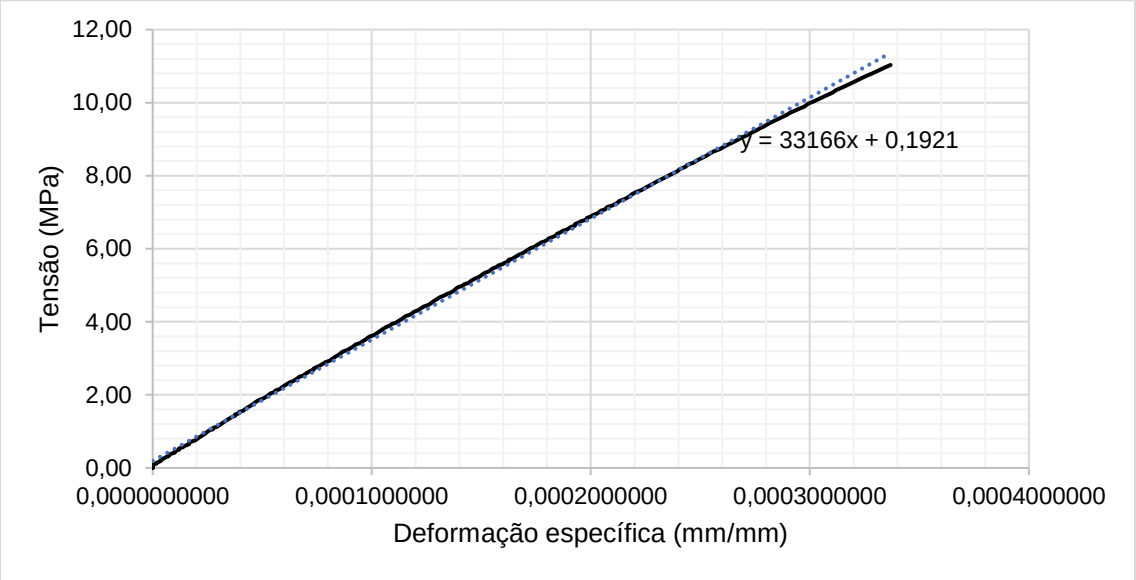
Fonte: Autor

Gráfico 37 - Módulo de Elasticidade Estático – CP2 (40MPa) – 21 dias



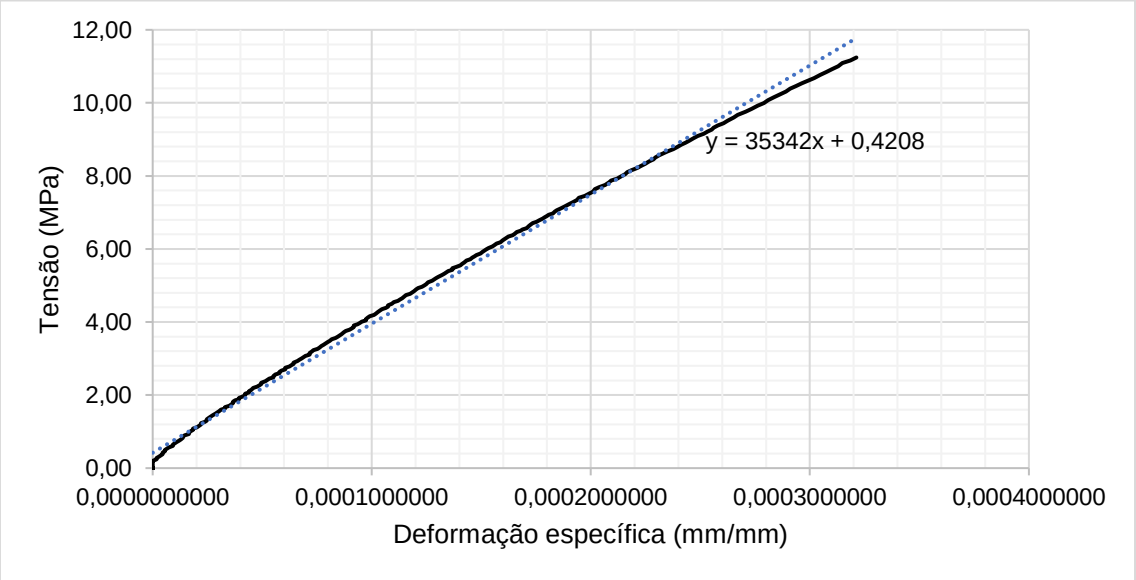
Fonte: Autor

Gráfico 38 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (40MPa) – 21 dias



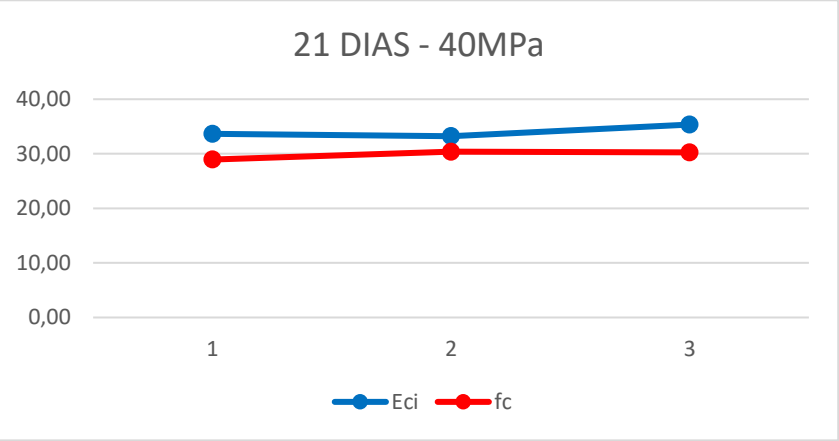
Fonte: Autor

Gráfico 39 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (40MPa) – 21 dias



Fonte: Autor

Gráfico 40 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40 MPa - 21 dias



Fonte: Autor

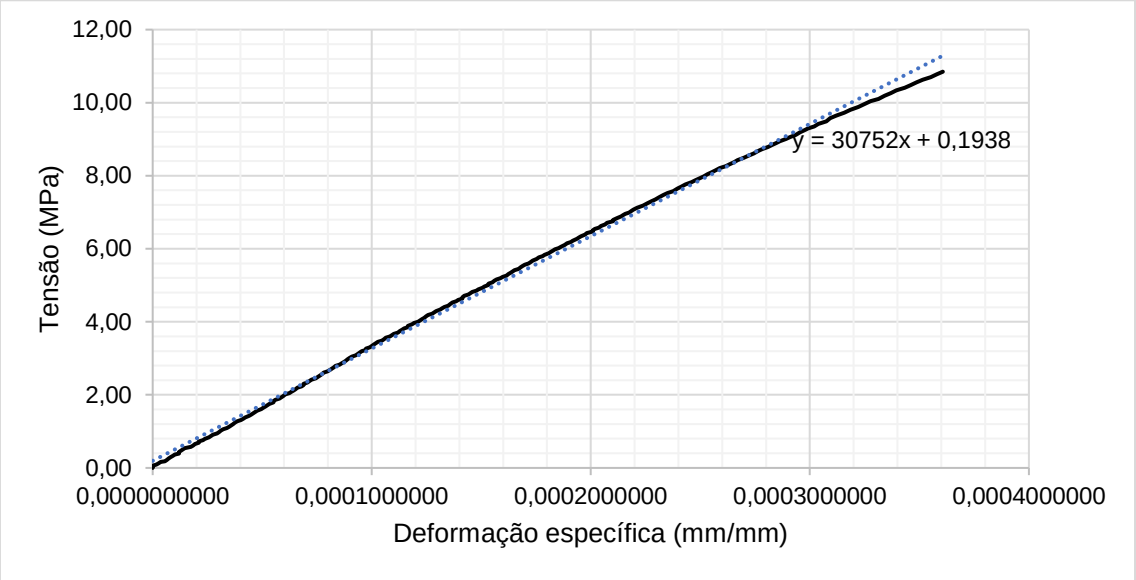
Na tabela 12, com CPs de relação água/cimento de 0,45, com idade de 28 dias, todos os corpos de prova ensaiados tiveram resultados satisfatórios atendendo a norma de $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, o CP5 em comparação ao CP4 e CP3 teve um desempenho menor, e os 3 comparados a idade anterior de 21 dias também tiveram um resultado inferior, não atingindo a resistência esperada para a idade de 40MPa.

Tabela 12 - Comparativo entre $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40MPa (28 dias)

Corpo de prova ensaiado:	**CP3**	**CP4**	**CP5**	**UN**
Tensão Inicial:	0,50	0,50	0,50	**MPa**
Deformação Inicial:	0,00001364856	0,00000745282	0,00000550700	**mm/mm**
Tensão de Referência (0,30*fc):	9,34	9,46	0,00	**MPa**
Deformação de Referência:	0,000301970000	0,000312070000	0,000262500000	**mm/mm**
Módulo de Elasticidade:	30702,09	29572,10	26623,82	**MPa**
Compressão Simples:	31,14	31,52	24,36	**MPa**
Média E_{ci}:	28966,01			**MPa**
Média f_c:	29,01			**MPa**

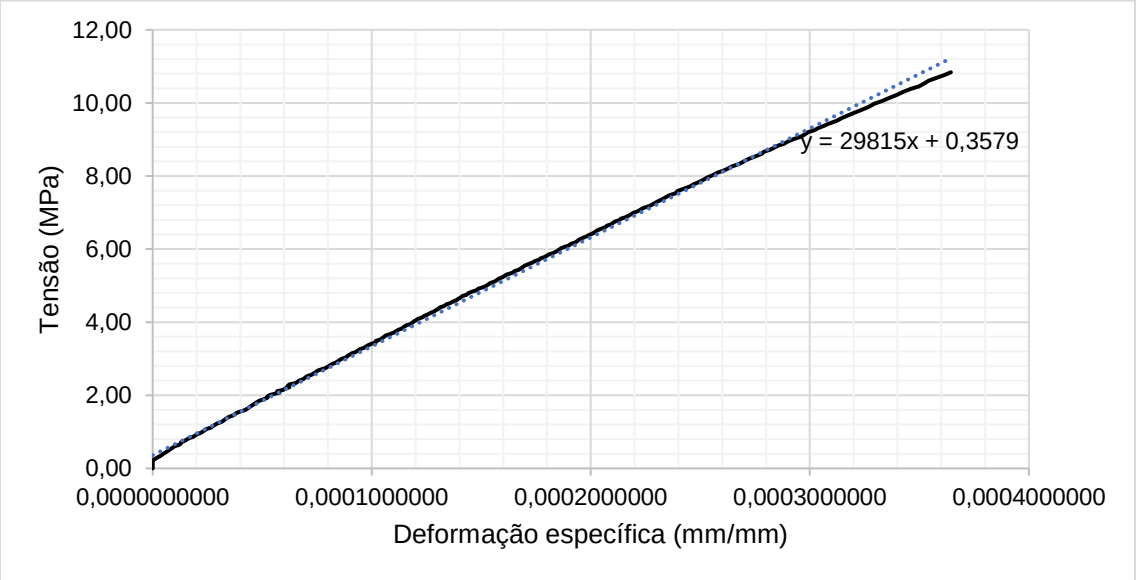
Fonte: Autor

Gráfico 41 - Módulo de Elasticidade Estático – CP3 (40MPa) – 28 dias



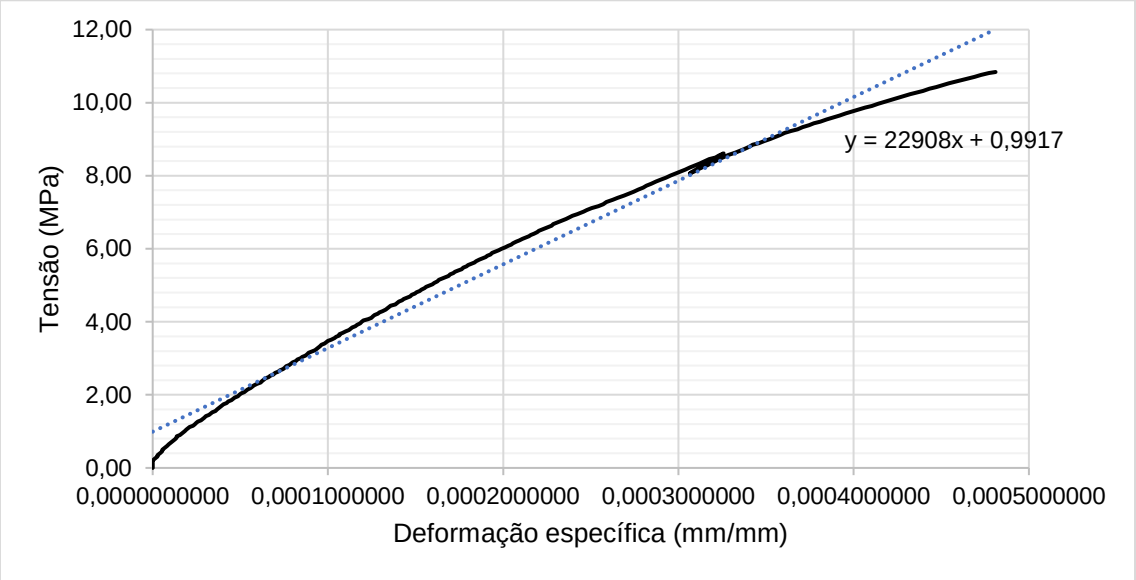
Fonte: Autor

Gráfico 42 - Módulo de Elasticidade Estático – CP4 (40MPa) – 28 dias



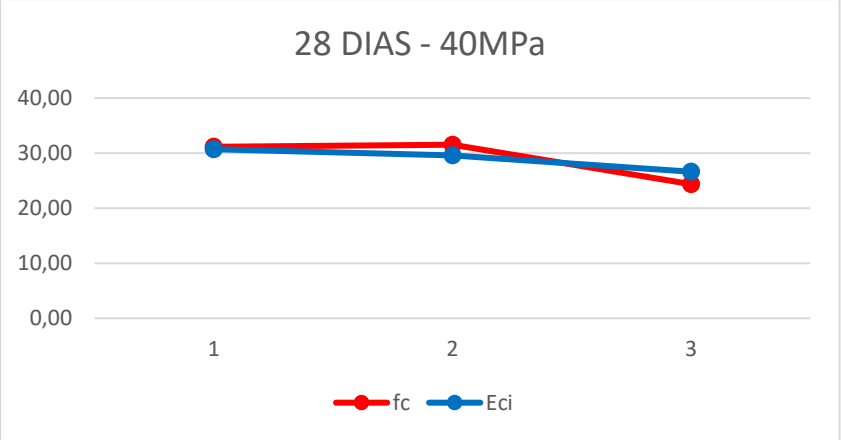
Fonte: Autor

Gráfico 43 - Módulo de Elasticidade Estático – CP5 (40MPa) – 28 dias



Fonte: Autor

Gráfico 44 - Comparativo $E_{ci,\ exp}$ e f_c – 40 MPa - 28 dias



Fonte: Autor

O concreto de 40 MPa teve um resultado semelhante ao do concreto de 30MPa, onde em todas as idades, o mesmo obteve sucesso atendendo a norma ABNT NBR 8522-1:2021, no item 7.3.2.4, onde “Se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em ± 20%, os resultados do corpo de prova não são confiáveis e não podem ser considerados no cálculo”, porém , diferente do concreto de 30MPa, o concreto de 40MPa, não atendeu a resistência esperada para a idade de 28 dias, como demostrava ao longo das idades.

Utilizando a equação 11, para estimar o valor do E_{ci}, com o f_c de 29,01MPa, e o αe=1,2, dado referido ao basalto, conforme a ABNT NBR 6118:2023 obteve-se o resultado de $E_{ci,est}$ =36194,55 MPa.

Para fins comparativos, o módulo estimado ficou superior ao valor real obtido em média $E_{ci,exp}$ = 28966,01 MPa.

Pela equação 11, pode-se definir também o $\alpha_{e,\ exp}$ de 0,96.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como escopo, pesquisar, desenvolver e comparar resultados obtidos em três diferentes métodos de medição da resistência à compressão do concreto. Sendo eles rompimento de corpos de prova padrão, módulo de elasticidade estático e dinâmico.

Avaliamos o desempenho de corpos de prova (CPs) de concreto com diferentes relações água/cimento (0,65, 0,55 e 0,45) e idades de 7, 14, 21 e 28 dias, com resistência projetada de 20 MPa, 30 MPa e 40 MPa. Nos ensaios realizados, foi observado que, para o concreto de 20 MPa, os CPs não atenderam às exigências da norma ABNT NBR 8522-1:2021, que exige que a resistência efetiva ($f_{c,ef}$) não diferisse da resistência característica (f_c) em mais de 20%. Embora alguns resultados fossem satisfatórios em relação à diferença de 20%, a resistência esperada para cada idade não foi alcançada.

Com relação ao concreto de 30 MPa, os resultados foram mais satisfatórios, atendendo à norma em todas as idades e com resistência compatível com as expectativas. Nos ensaios de 7, 14, 21 e 28 dias, o concreto atingiu a resistência normativa esperada.

Porém, para o concreto de 40 MPa, embora os ensaios também tivessem atendido à norma em termos de variação entre a resistência efetiva e o ECI, a resistência esperada para a idade de 28 dias não foi atingida, com os CPs apresentando resultados inferiores ao esperado.

Em resumo, o estudo revelou que, enquanto o concreto de 30 MPa apresentou desempenho adequado, o concreto de 20 MPa e 40 MPa não atingiram as resistências esperadas, apesar de atenderem às exigências normativas para a diferença entre f_c e $f_{c,ef}$. Os resultados indicaram a necessidade de ajustes nos parâmetros de dosagem e controle de qualidade do concreto para garantir o cumprimento das especificações.

Quando estimados os valores para o E_{ci}, pode-se analisar que em exceto no concreto de 20MPa, onde o $E_{ci,est}$ foi inferior ao $E_{ci,exp}$, os concretos de 30MPa e 40MPa, tiverem valores superiores no $E_{ci,est,}$ onde na prática teria-se flechas maiores do que as estimadas, caso não fossem realizados os ensaios com o concreto posteriormente.

Para o valor normatizado de αe=1,2, quando realizado a conferência com um $\alpha_{e,\,exp}$, pode-se determinar que os valores não são condizentes com a norma, onde conforme aumentamos o f_{ck} , o valor do $\alpha_{e,\,exp}$ diminui.

Os ensaios de Módulo de Elasticidade Dinâmico não foram realizados para o fim comparativos, mas seguem como sugestão para revisar uma análise dinâmica.

REFERÊNCIAS

TRAÇO DO CONCRETO. Disponível em:< https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc_maco2_07_traco.pdf> Acesso em: 26 abr. 2024.

Callister, Jr., William D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada, 2° edição. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2006.
RODRIGUES, P. P. F. Parâmetros de dosagem de concreto. 2 ed. São Paulo: ABCP, 1995.

G. C. Isaia. Dosagem dos concretos de Cimento Portalnd. São Paulo: IBRACON, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Moldagem e cura de Corpos de Prova Cilíndricos e Prismáticos de concreto. Rio de Janeiro. 2015. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522-1:2021. Concreto endurecido – Determinação dos Módulos de Elasticidade e de deformação – Parte 1: Módulos Estáticos à compreensão. Rio de Janeiro. 2021. 30P.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8522-2:2021. Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 2: Módulo de elasticidade dinâmico pelo método das frequências naturais de vibração. Rio de Janeiro. 2021. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9479:
Embalagem e acondicionamento – Determinação do desempenho em queda
EMBALAGEM E ACONDICIONAMENTO — DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO EM QUEDA. Rio de Janeiro, 2011. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118.Projeto de Estruturas de Concreto Armado. Rio de Janeiro. 2023.260p.

Hibbeler, R. C. Resistência dos materiais, 7º edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

Mehta, P. Kumar; Monteiro, P. J. M. Concreto. Microestrutura, propriedades e Materiais, 3º edição. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

ALMEIDA, Luiz Carlos de. Notas de aula da disciplina de Concreto armado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002. 24 p. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>. Acesso em: 7 mai. 2024

DJANIKIAN FILHO, João Gaspar. Controle do módulo de elasticidade do concreto na estrutura com o uso de células de fluência. 2010. 78 f. Monografia

(Especialização) – Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

GUJEL, D.A. Avaliação do comportamento elástico de concretos produzidos com substituição parcial dos agregados graúdos naturais por reciclados de concreto a partir de ensaios estático e dinâmico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014, 127p.

SHEHATA, L.D. Deformações instantâneas de concreto. In: ISAÍA, G.C. (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.
PEREIRA, A.H.A.; RODRIGUES, J.A. Incerteza de medição do módulo de Young de materiais por métodos não-destrutivos adotando-se um valor estimado para a razão de Piosson. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Anais..., 2010.

SONELASTIC. *Módulos elásticos: Fundamentos e bases*. SONELASTIC, 2024. Disponível em: https://www.sonelastic.com/pt/fundamentos/bases/modulos-elasticos.html. Acesso em: 25 ago. 2024.

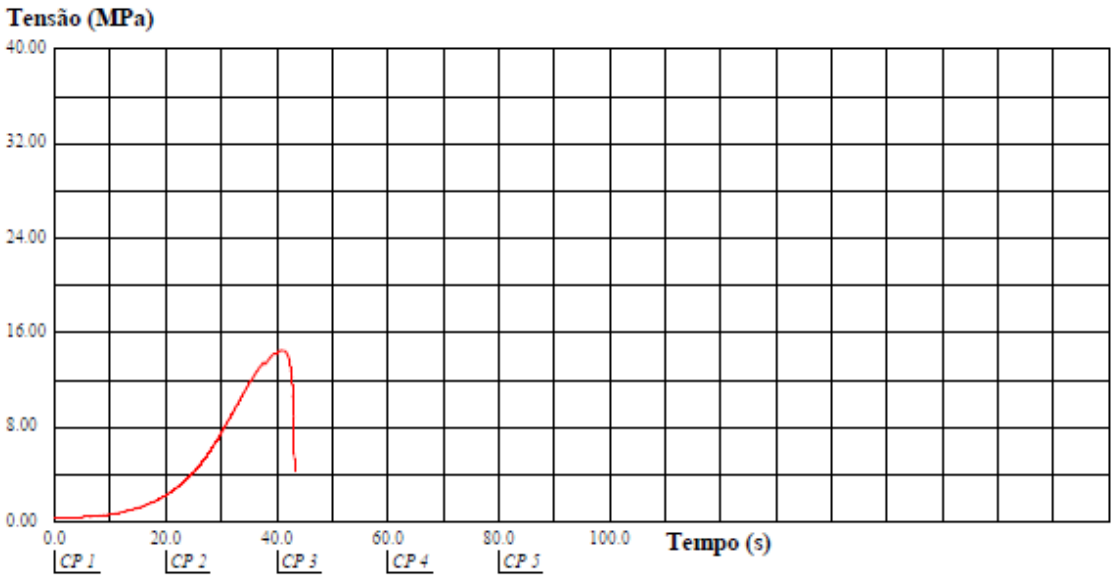
ESTRUTURAL. *Concreto Estrutural*. Disponível em:<Na ta> Acesso em: 24 abr. 2024.

ANEXO A – Ensaio de Compressão Simples – 20 MPa (7 dias - CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **28/10/2024** Hora: **14:52:31** Trabalho nº **21993**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilíndrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 7 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	114	14.56	41	0.35
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	114.3	14.56	40.99	0.3459
Mediana	7854	114.3	14.56	40.99	0.3459
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	114.3	14.56	40.99	0.3459
Máximo	7854	114.3	14.56	40.99	0.3459

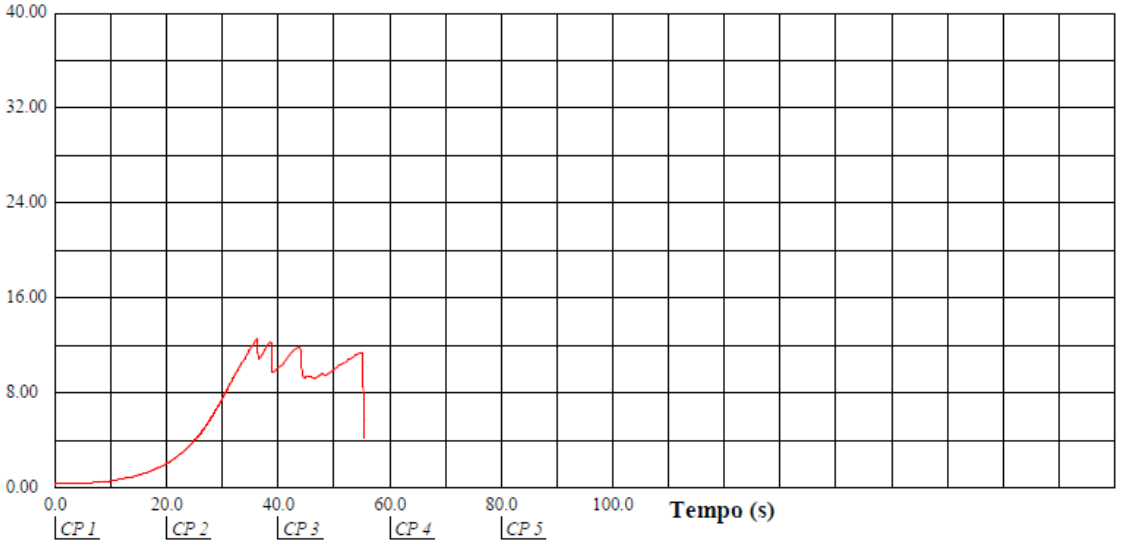


Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **28/10/2024** Hora: **15:27:58** Trabalho nº **22003**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 7 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	99	12.63	36	0.34
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	99.18	12.63	36.35	0.3372
Mediana	7854	99.18	12.63	36.35	0.3372
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	99.18	12.63	36.35	0.3372
Máximo	7854	99.18	12.63	36.35	0.3372

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

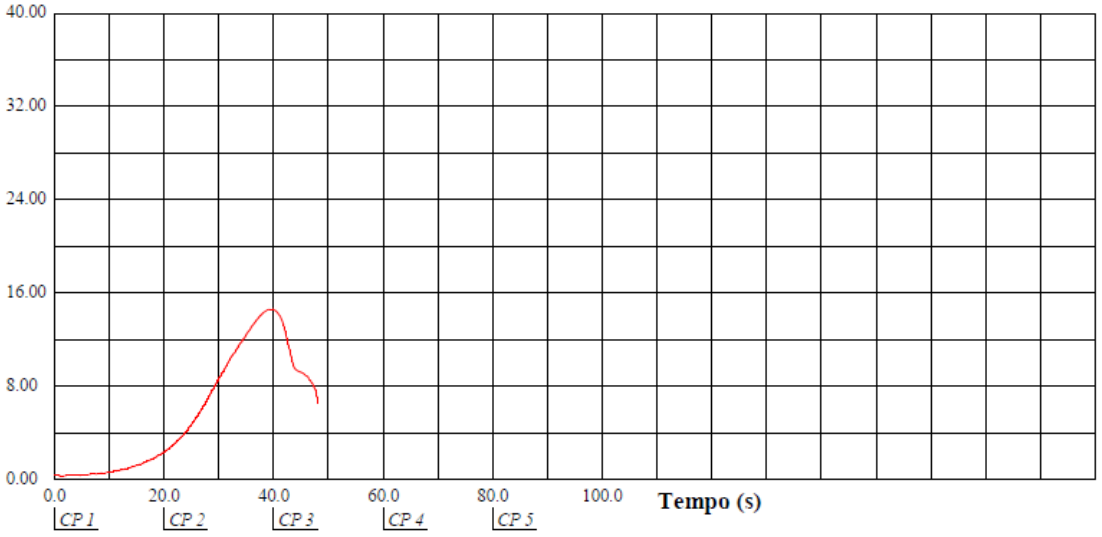
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **28/10/2024** Hora: **15:30:22** Trabalho nº **22004**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 7 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	115	14.67	39	0.36
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	115.2	14.67	39.40	0.3627
Mediana	7854	115.2	14.67	39.40	0.3627
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	115.2	14.67	39.40	0.3627
Máximo	7854	115.2	14.67	39.40	0.3627

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

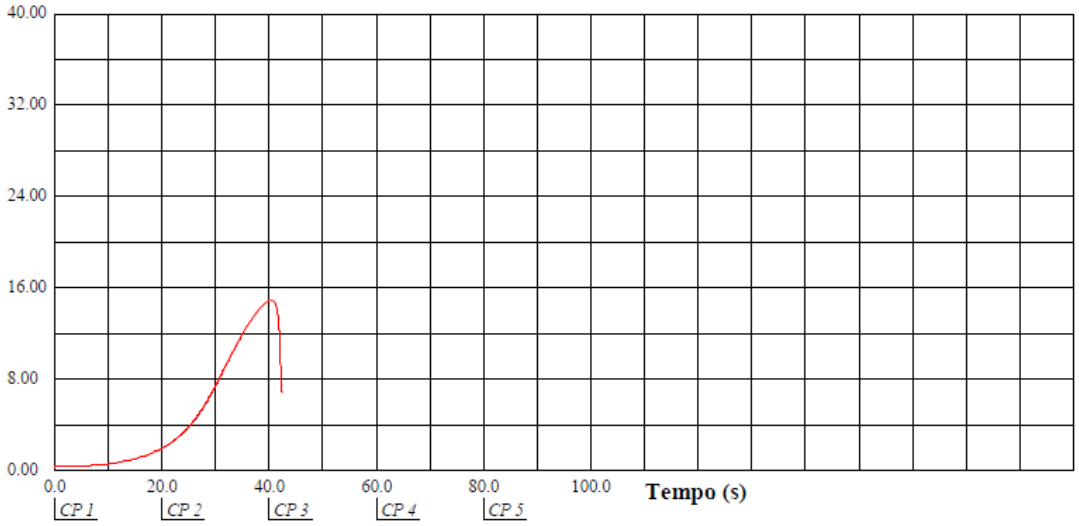
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **28/10/2024** Hora: **15:32:42** Trabalho nº **22005**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 7 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	117	14.96	41	0.36
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	117.5	14.96	40.51	0.3601
Mediana	7854	117.5	14.96	40.51	0.3601
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	117.5	14.96	40.51	0.3601
Máximo	7854	117.5	14.96	40.51	0.3601

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

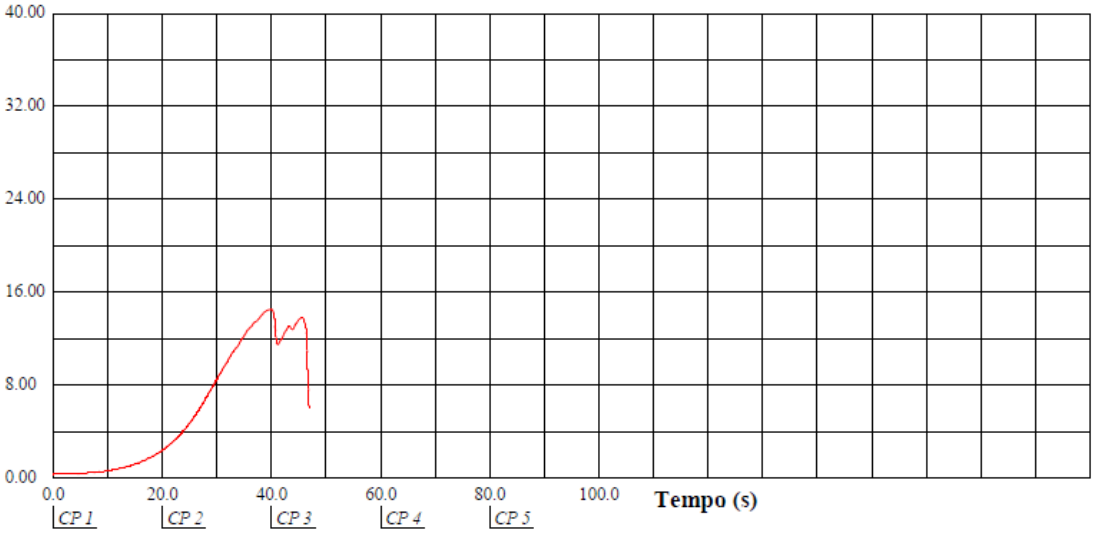
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **28/10/2024** Hora: **15:34:57** Trabalho nº **22006**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 7 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	114	14.57	40	0.35
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	114.4	14.57	40.07	0.3542
Mediana	7854	114.4	14.57	40.07	0.3542
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	114.4	14.57	40.07	0.3542
Máximo	7854	114.4	14.57	40.07	0.3542

Tensão (MPa)

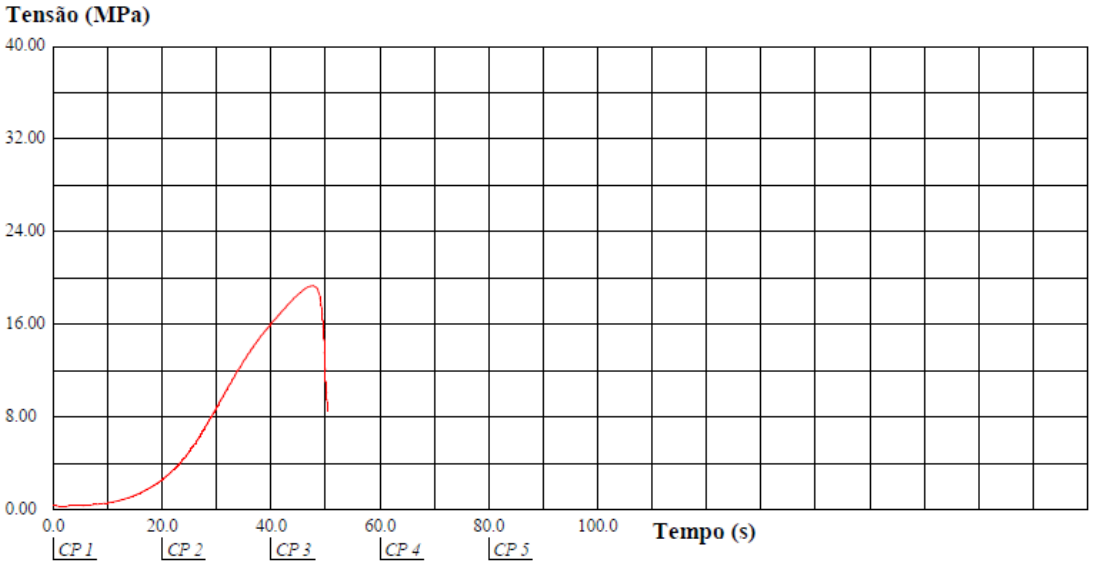


ANEXO B – Ensaio de Compressão Simples – 20 MPa (22 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **16:37:20** Trabalho nº **22068**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 22 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	152	19.37	48	0.40
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	152.2	19.37	47.83	0.3973
Mediana	7854	152.2	19.37	47.83	0.3973
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	152.2	19.37	47.83	0.3973
Máximo	7854	152.2	19.37	47.83	0.3973



Relatório de Ensaio

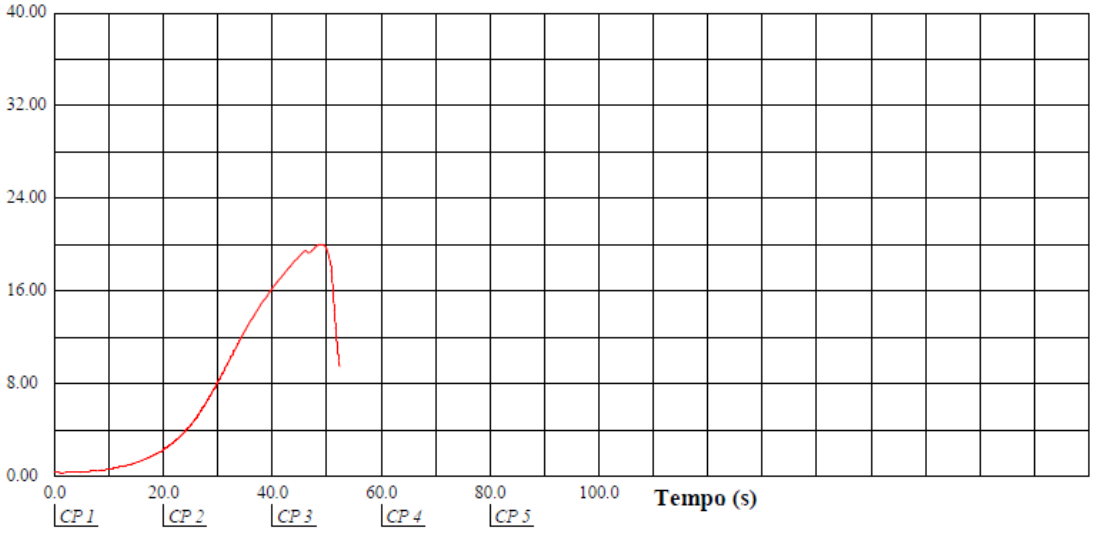
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **12/11/2024** Hora: **18:13:24** Trabalho n° **22084**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 22 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	158	20.09	49	0.40
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	157.8	20.09	48.80	0.4040
Mediana	7854	157.8	20.09	48.80	0.4040
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	157.8	20.09	48.80	0.4040
Máximo	7854	157.8	20.09	48.80	0.4040

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

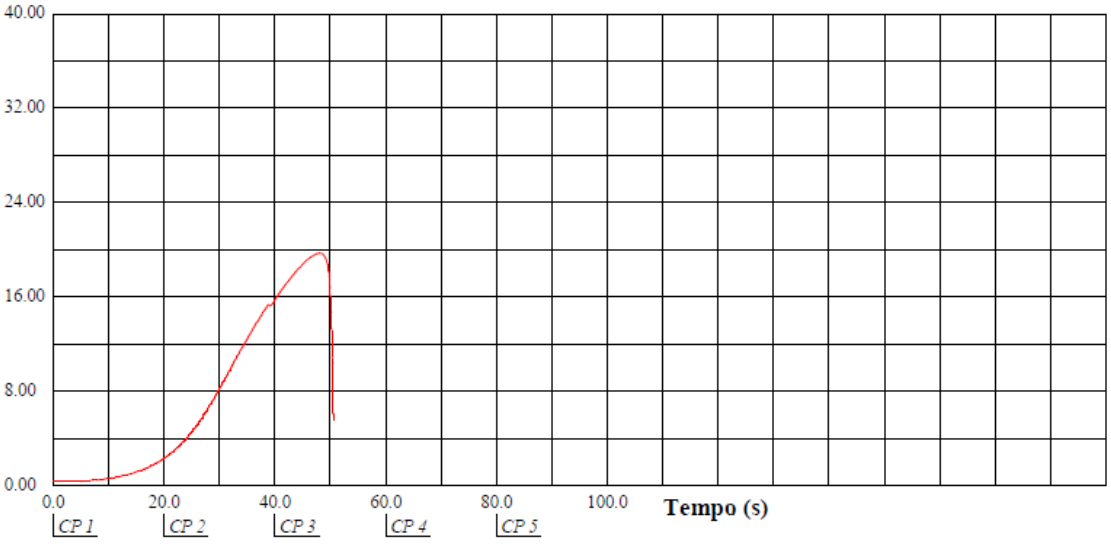
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:16:47** Trabalho n° **22085**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 22 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	155	19.76	48	0.40
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	155.2	19.76	48.17	0.4025
Mediana	7854	155.2	19.76	48.17	0.4025
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	155.2	19.76	48.17	0.4025
Máximo	7854	155.2	19.76	48.17	0.4025

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

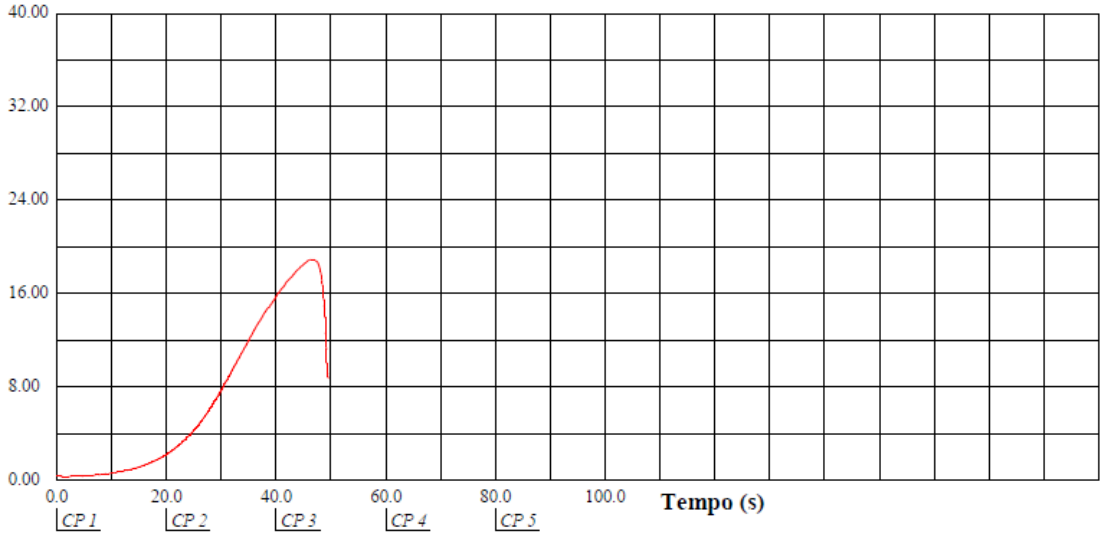
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:19:26** Trabalho nº **22086**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 22 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	149	18.95	47	0.40
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	148.8	18.95	46.90	0.3961
Mediana	7854	148.8	18.95	46.90	0.3961
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	148.8	18.95	46.90	0.3961
Máximo	7854	148.8	18.95	46.90	0.3961

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

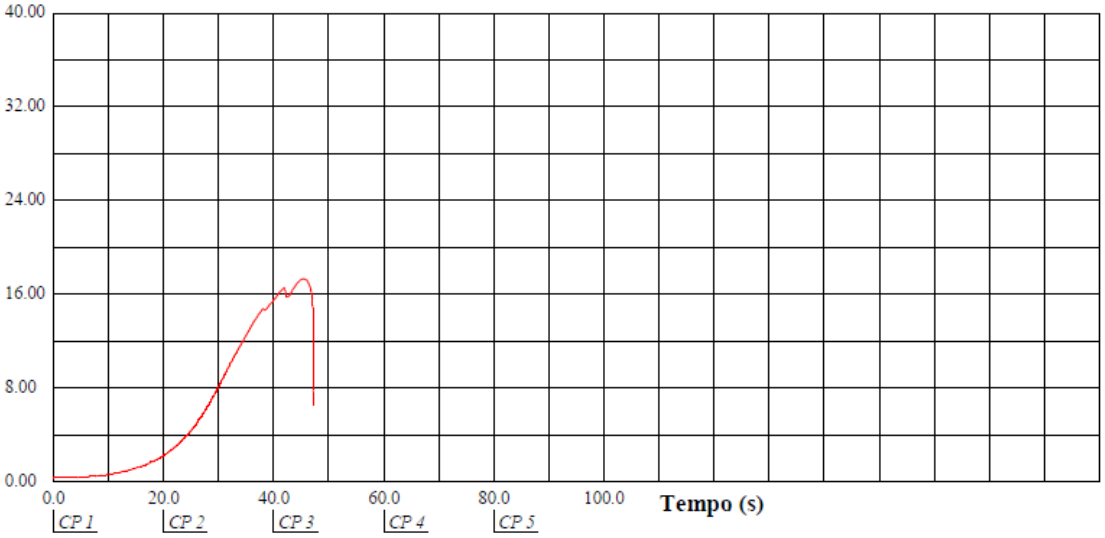
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:22:13** Trabalho nº **22087**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 22 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	136	17.36	46	0.37
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	136.4	17.36	45.54	0.3731
Mediana	7854	136.4	17.36	45.54	0.3731
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	136.4	17.36	45.54	0.3731
Máximo	7854	136.4	17.36	45.54	0.3731

Tensão (MPa)



ANEXO C – Ensaio de Compressão Simples – 20 MPa (28 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

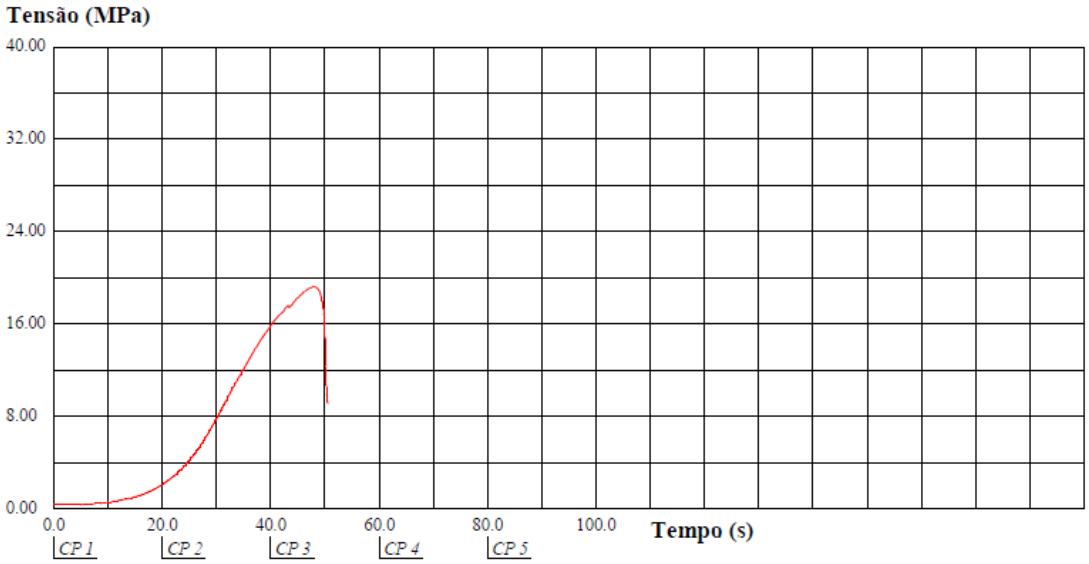
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **16:28:00** Trabalho nº **22145**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 28 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	151	19.25	48	0.39
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	151.2	19.25	47.92	0.3940
Mediana	7854	151.2	19.25	47.92	0.3940
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	151.2	19.25	47.92	0.3940
Máximo	7854	151.2	19.25	47.92	0.3940



Relatório de Ensaio

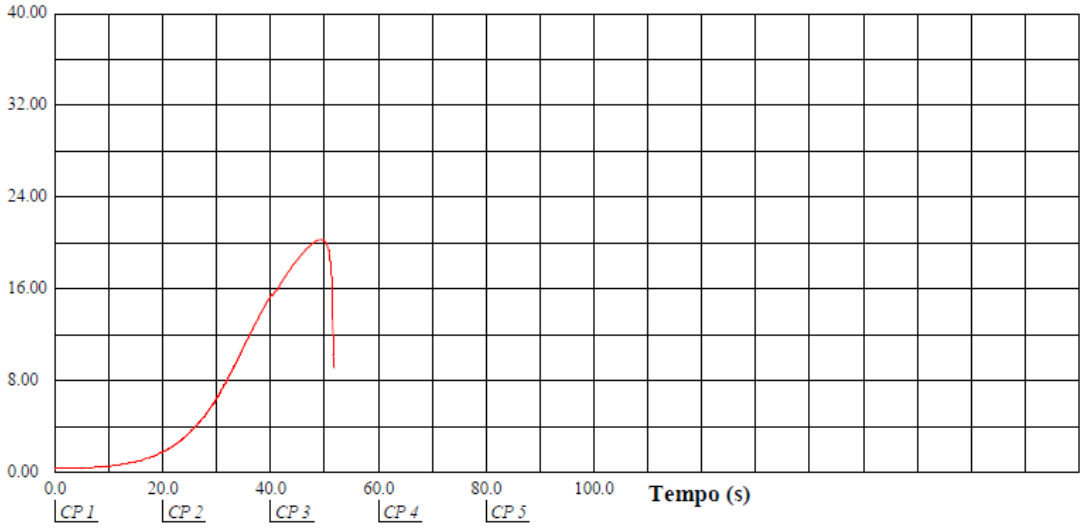
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:33:22** Trabalho n° **22163**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 28 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	160	20.36	49	0.40
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	159.9	20.36	49.35	0.4049
Mediana	7854	159.9	20.36	49.35	0.4049
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	159.9	20.36	49.35	0.4049
Máximo	7854	159.9	20.36	49.35	0.4049

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

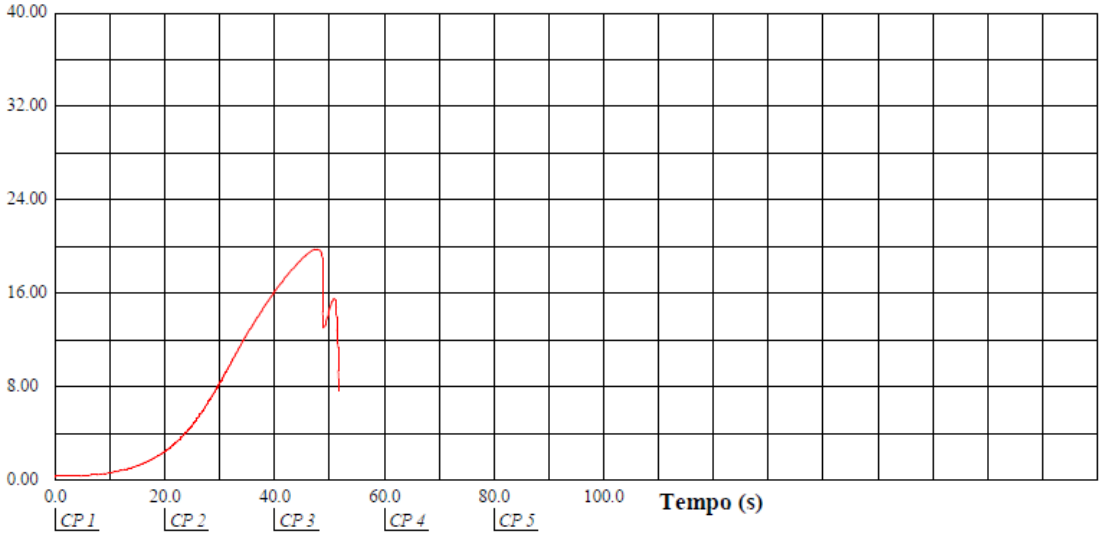
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:36:13** Trabalho nº **22164**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 28 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	156	19.83	48	0.41
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	155.8	19.83	47.83	0.4068
Mediana	7854	155.8	19.83	47.83	0.4068
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	155.8	19.83	47.83	0.4068
Máximo	7854	155.8	19.83	47.83	0.4068

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

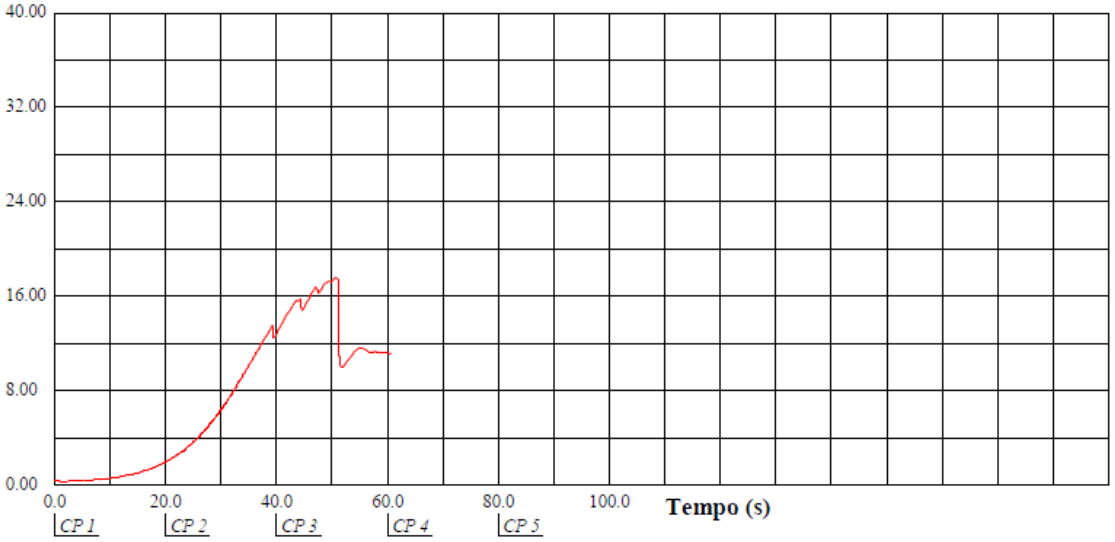
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:39:02** Trabalho nº **22165**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 28 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	138	17.63	51	0.34
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	138.5	17.63	50.78	0.3398
Mediana	7854	138.5	17.63	50.78	0.3398
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	138.5	17.63	50.78	0.3398
Máximo	7854	138.5	17.63	50.78	0.3398

Tensão (MPa)

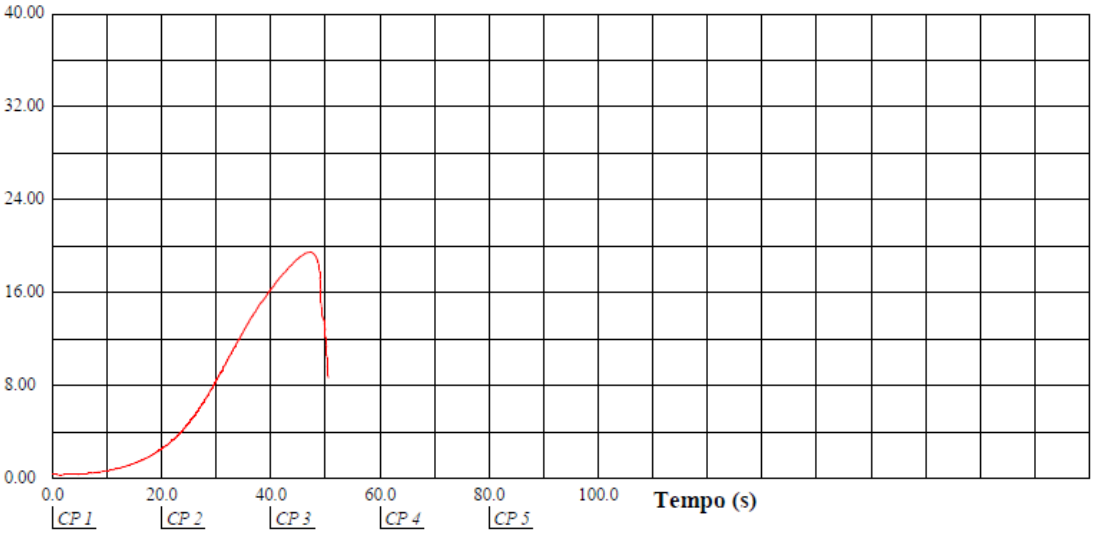


Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:41:31** Trabalho n° **22166**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **20 - 28 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	153	19.52	47	0.40
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	153.3	19.52	47.42	0.4038
Mediana	7854	153.3	19.52	47.42	0.4038
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	153.3	19.52	47.42	0.4038
Máximo	7854	153.3	19.52	47.42	0.4038

Tensão (MPa)

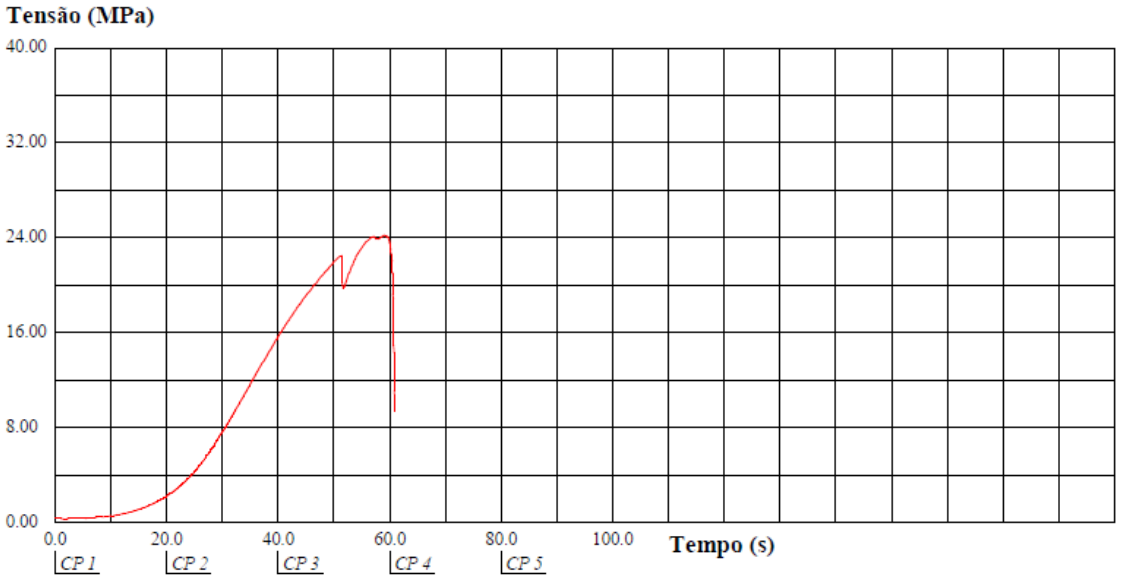


ANEXO D – Ensaio de Compressão Simples – 30 MPa (7 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **25/10/2024** Hora: **10:17:51** Trabalho nº **21984**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 7 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	190	24.24	59	0.40
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	190.4	24.24	59.01	0.4044
Mediana	7854	190.4	24.24	59.01	0.4044
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	190.4	24.24	59.01	0.4044
Máximo	7854	190.4	24.24	59.01	0.4044



Relatório de Ensaio

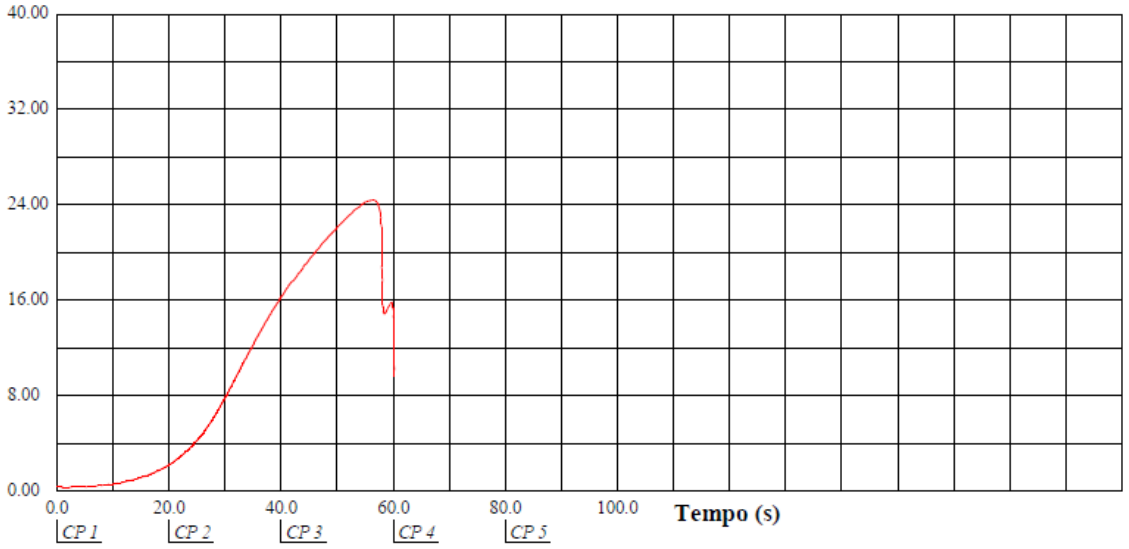
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **25/10/2024** Hora: **16:20:24** Trabalho n° **21989**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 7 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	192	24.43	56	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	191.9	24.43	56.48	0.4259
Mediana	7854	191.9	24.43	56.48	0.4259
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	191.9	24.43	56.48	0.4259
Máximo	7854	191.9	24.43	56.48	0.4259

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

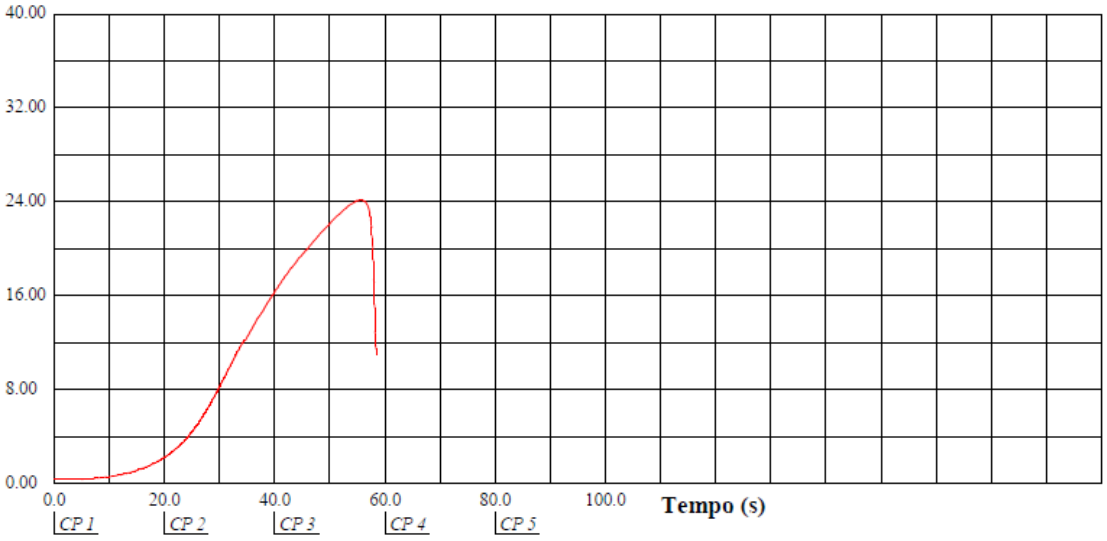
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **25/10/2024** Hora: **16:24:11** Trabalho nº **21990**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 7 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	190	24.17	55	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	189.9	24.17	55.49	0.4289
Mediana	7854	189.9	24.17	55.49	0.4289
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	189.9	24.17	55.49	0.4289
Máximo	7854	189.9	24.17	55.49	0.4289

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

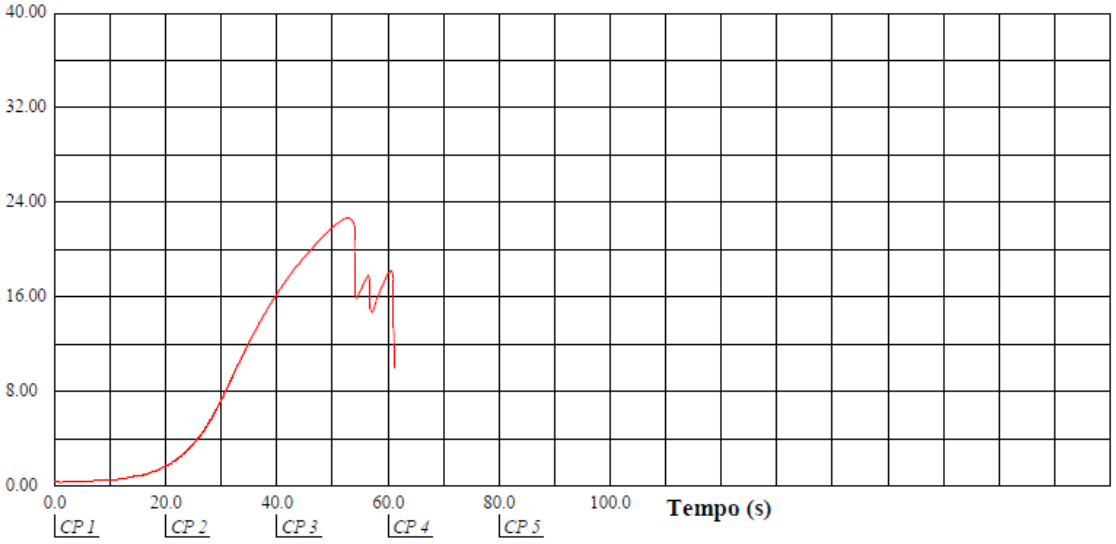
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **25/10/2024** Hora: **16:27:11** Trabalho n° **21991**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 7 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	178	22.71	53	0.42
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	178.4	22.71	52.65	0.4243
Mediana	7854	178.4	22.71	52.65	0.4243
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	178.4	22.71	52.65	0.4243
Máximo	7854	178.4	22.71	52.65	0.4243

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

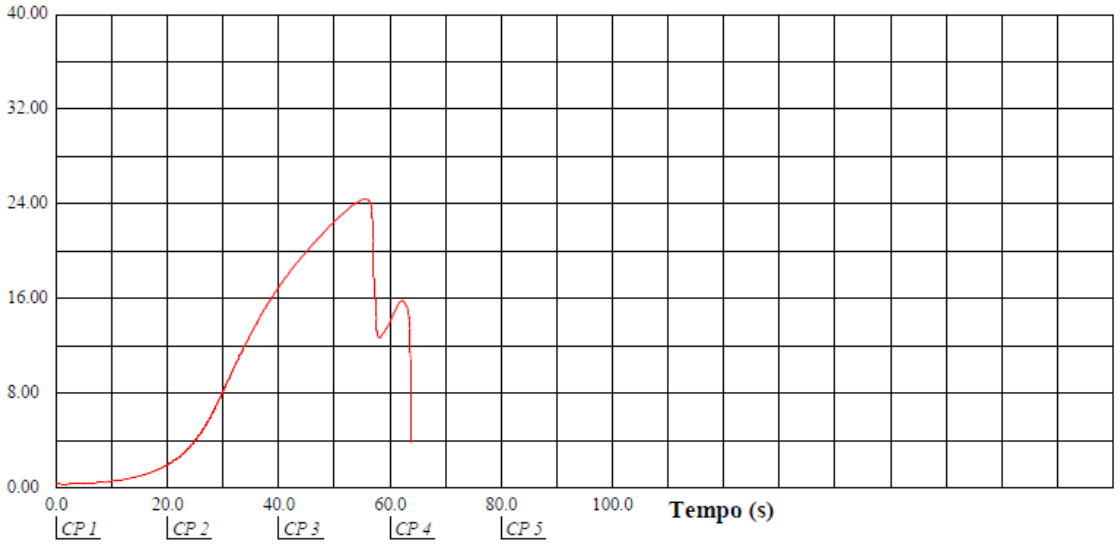
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **25/10/2024** Hora: **16:29:53** Trabalho nº **21992**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 7 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	192	24.44	56	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	192.0	24.44	55.56	0.4331
Mediana	7854	192.0	24.44	55.56	0.4331
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	192.0	24.44	55.56	0.4331
Máximo	7854	192.0	24.44	55.56	0.4331

Tensão (MPa)



ANEXO E – Ensaio de Compressão Simples – 30 MPa (14 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

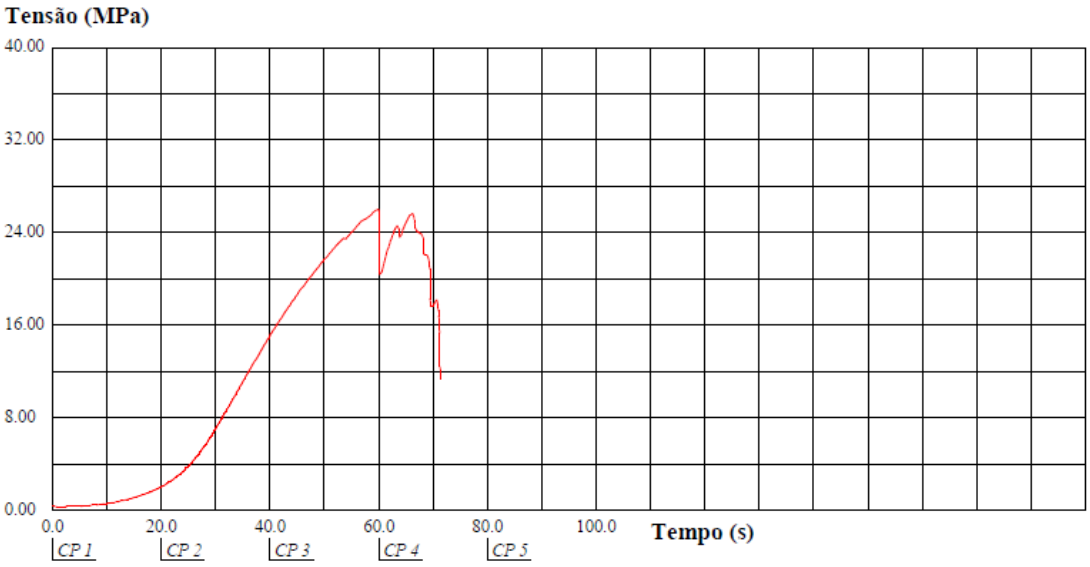
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **01/11/2024** Hora: **15:14:18** Trabalho nº **22031**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 14 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	205	26.06	60	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	204.6	26.06	59.97	0.4282
Mediana	7854	204.6	26.06	59.97	0.4282
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	204.6	26.06	59.97	0.4282
Máximo	7854	204.6	26.06	59.97	0.4282



Relatório de Ensaio

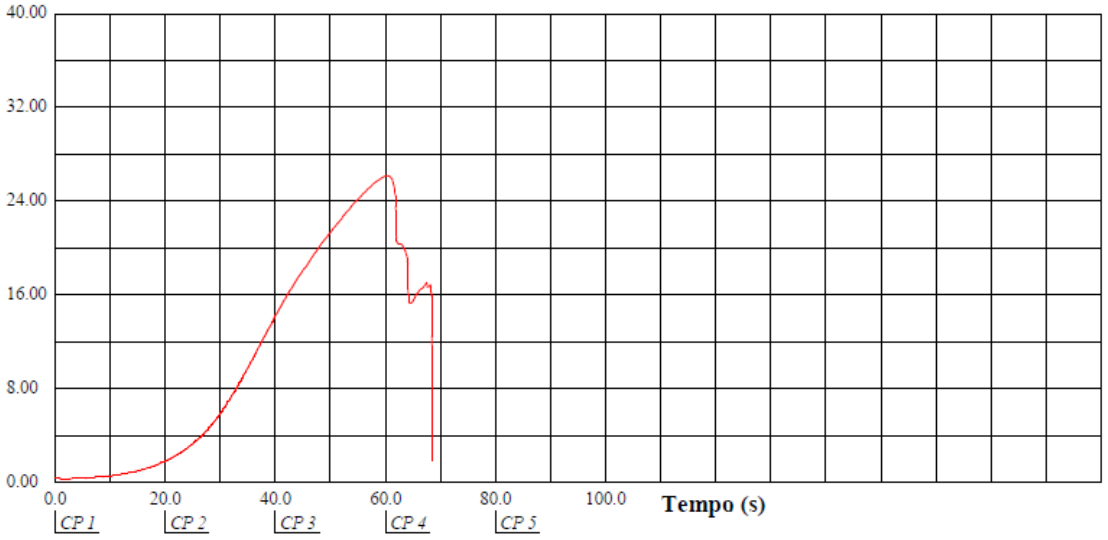
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **01/11/2024** Hora: **16:21:20** Trabalho nº **22036**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 14 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	206	26.22	60	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	205.9	26.22	60.48	0.4273
Mediana	7854	205.9	26.22	60.48	0.4273
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	205.9	26.22	60.48	0.4273
Máximo	7854	205.9	26.22	60.48	0.4273

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

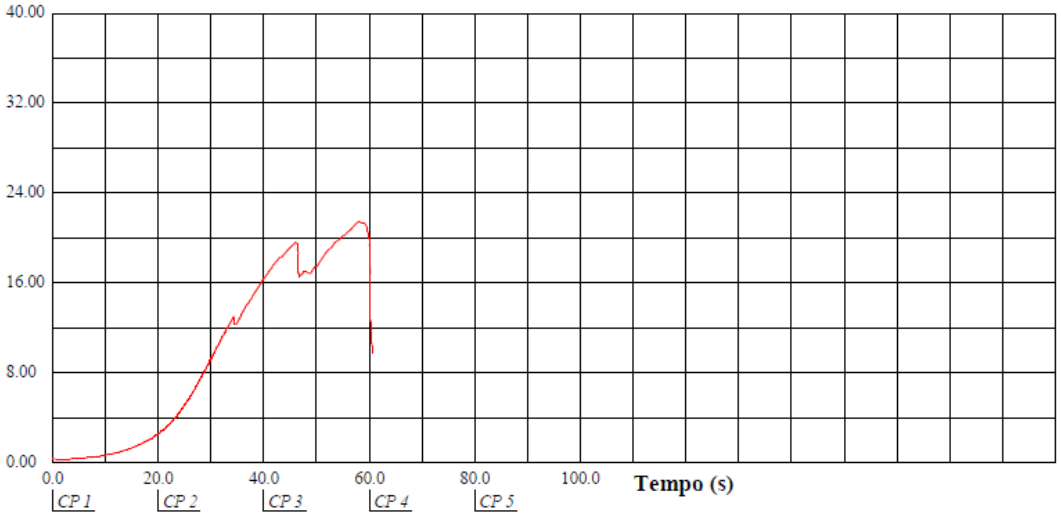
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **01/11/2024** Hora: **16:24:45** Trabalho nº **22037**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 14 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	**7854**	**169**	**21.51**	**58**	**0.36**
Número CPs	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Média	**7854**	**169.0**	**21.51**	**58.15**	**0.3635**
Mediana	**7854**	**169.0**	**21.51**	**58.15**	**0.3635**
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	**7854**	**169.0**	**21.51**	**58.15**	**0.3635**
Máximo	**7854**	**169.0**	**21.51**	**58.15**	**0.3635**

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

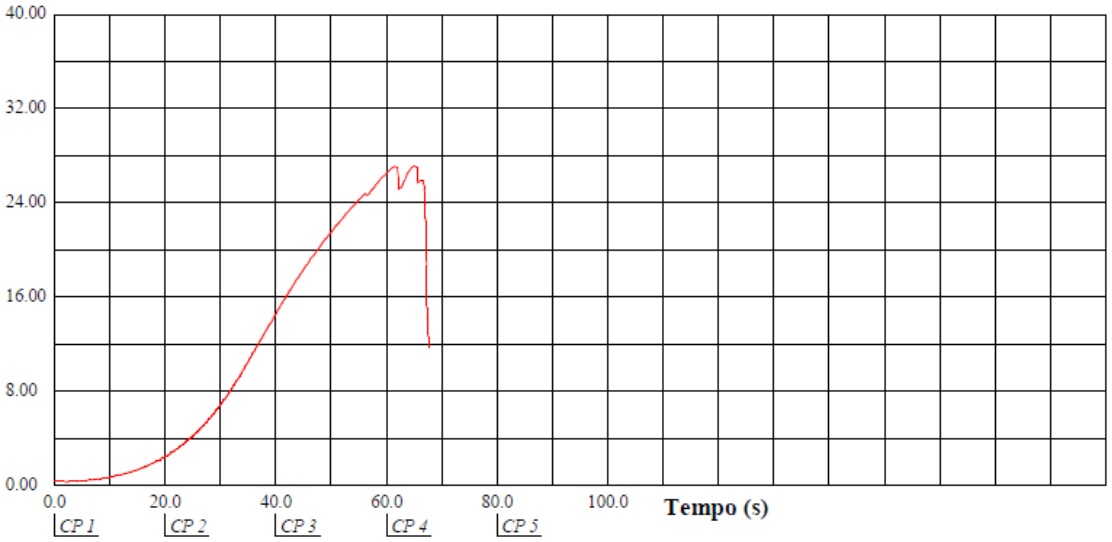
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **01/11/2024** Hora: **16:27:46** Trabalho nº **22038**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 14 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	213	27.15	65	0.41
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	213.2	27.15	65.07	0.4114
Mediana	7854	213.2	27.15	65.07	0.4114
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	213.2	27.15	65.07	0.4114
Máximo	7854	213.2	27.15	65.07	0.4114

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

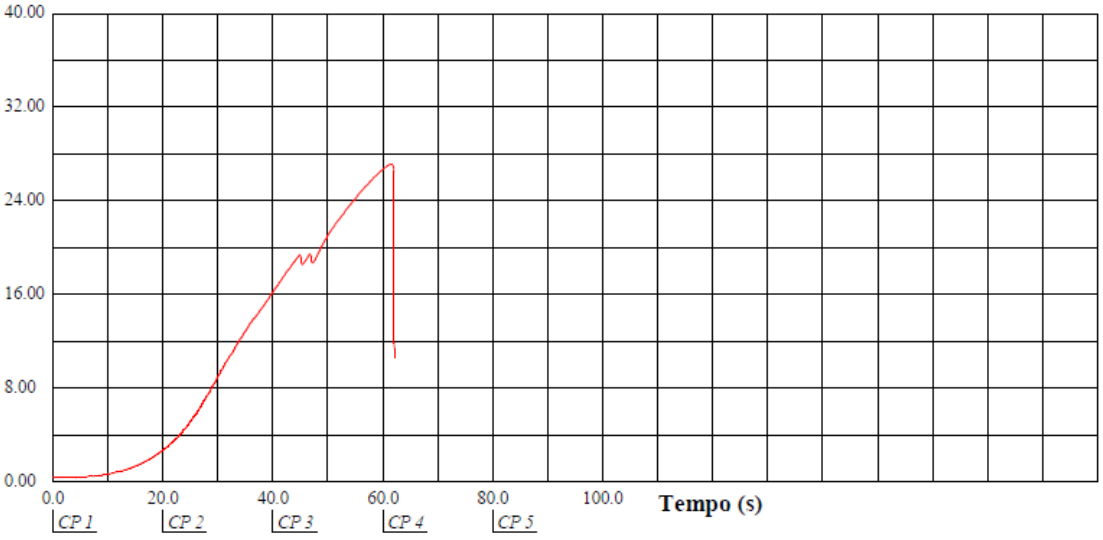
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **01/11/2024** Hora: **16:30:25** Trabalho nº **22039**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 14 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	213	27.16	62	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	213.3	27.16	61.73	0.4339
Mediana	7854	213.3	27.16	61.73	0.4339
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	213.3	27.16	61.73	0.4339
Máximo	7854	213.3	27.16	61.73	0.4339

Tensão (MPa)



ANEXO F – Ensaio de Compressão Simples – 30 MPa (21 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

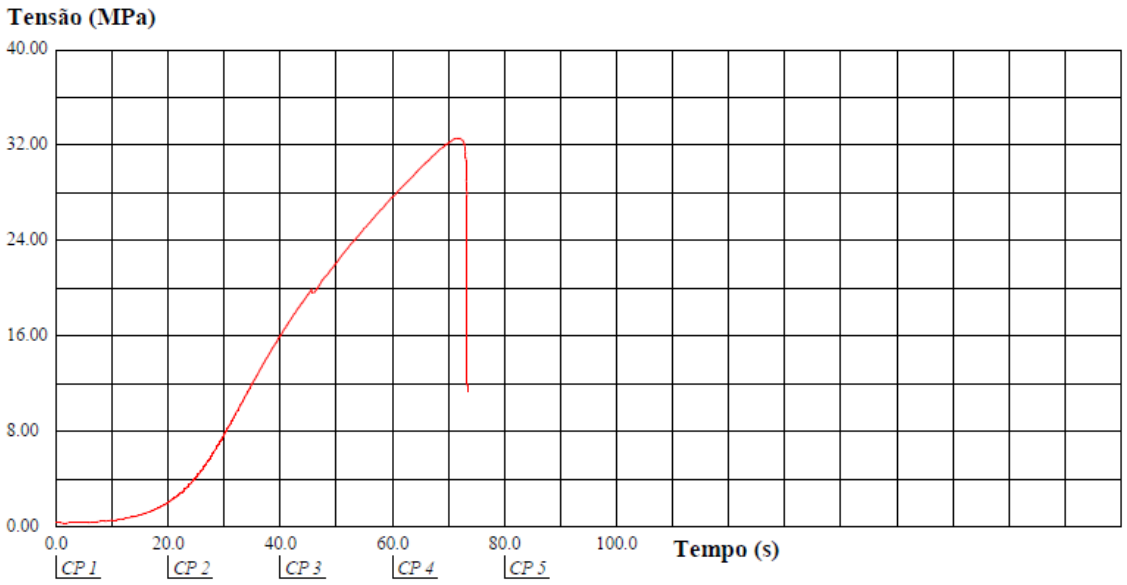
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **17:40:31** Trabalho nº **22070**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 21 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	256	32.62	72	0.45
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	256.2	32.62	71.63	0.4501
Mediana	7854	256.2	32.62	71.63	0.4501
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	256.2	32.62	71.63	0.4501
Máximo	7854	256.2	32.62	71.63	0.4501

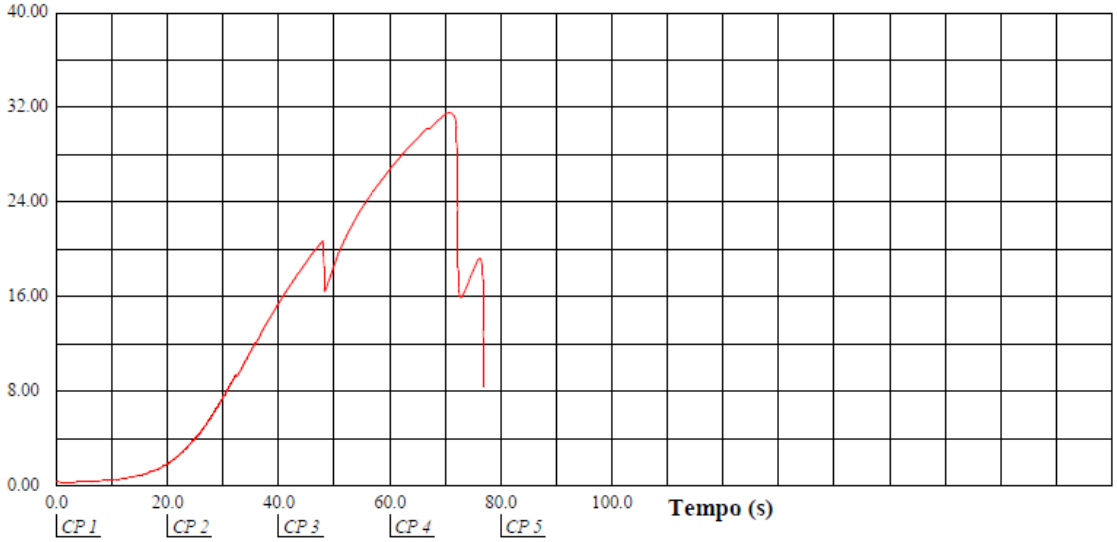


Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:25:32** Trabalho nº **22088**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 21 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	248	31.58	71	0.44
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	248.0	31.58	70.72	0.4412
Mediana	7854	248.0	31.58	70.72	0.4412
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	248.0	31.58	70.72	0.4412
Máximo	7854	248.0	31.58	70.72	0.4412

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

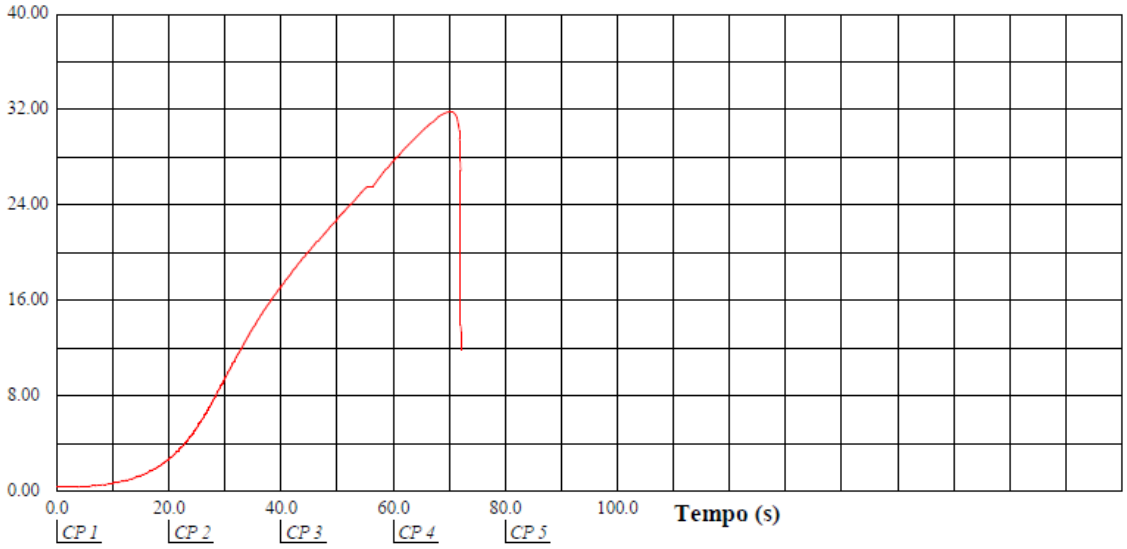
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:28:28** Trabalho n° **22089**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 21 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	250	31.89	70	0.45
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	250.5	31.89	70.17	0.4491
Mediana	7854	250.5	31.89	70.17	0.4491
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	250.5	31.89	70.17	0.4491
Máximo	7854	250.5	31.89	70.17	0.4491

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

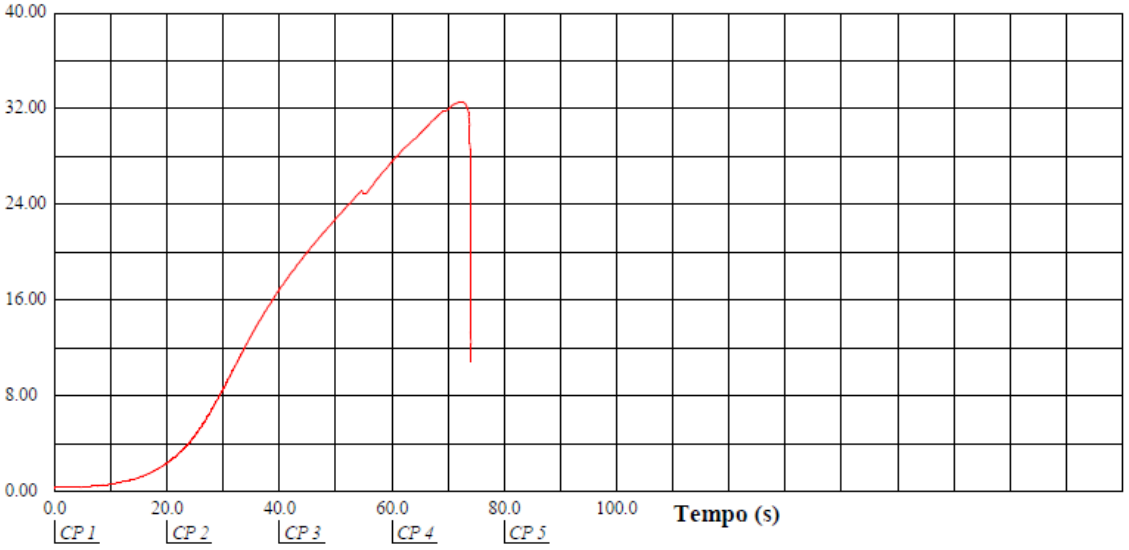
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:31:02** Trabalho nº **22090**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 21 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	256	32.63	73	0.44
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	256.3	32.63	72.62	0.4441
Mediana	7854	256.3	32.63	72.62	0.4441
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	256.3	32.63	72.62	0.4441
Máximo	7854	256.3	32.63	72.62	0.4441

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

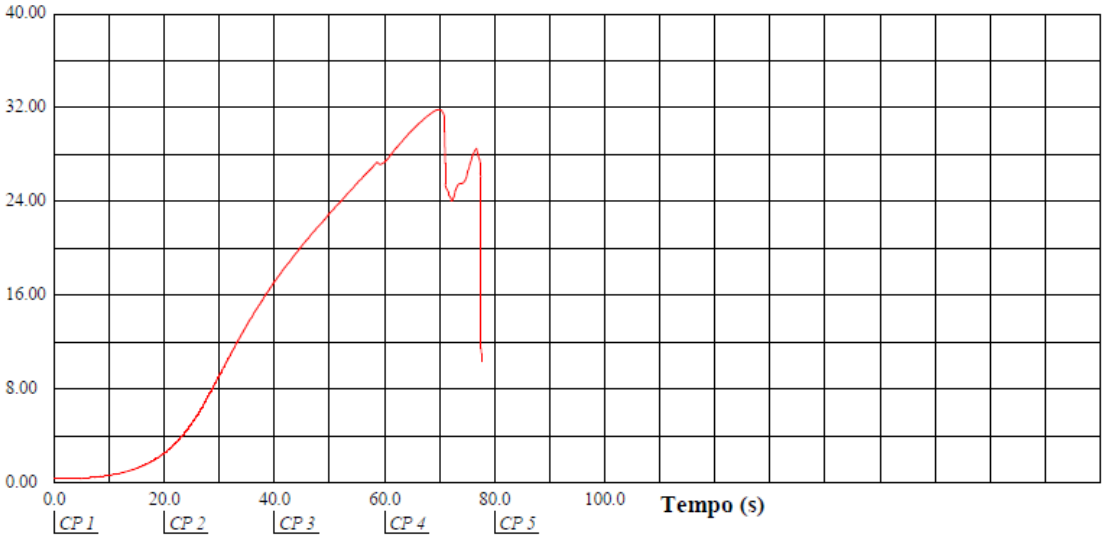
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:33:30** Trabalho nº **22091**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 21 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	250	31.87	70	0.45
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	250.3	31.87	69.86	0.4508
Mediana	7854	250.3	31.87	69.86	0.4508
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	250.3	31.87	69.86	0.4508
Máximo	7854	250.3	31.87	69.86	0.4508

Tensão (MPa)

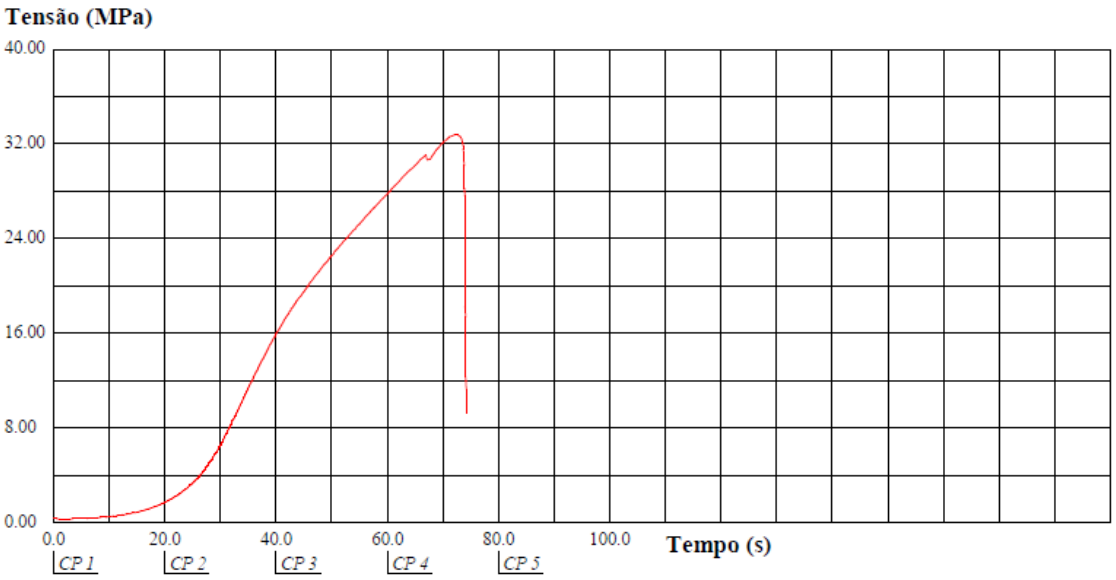


ANEXO G – Ensaio de Compressão Simples – 30 MPa (28 dias – CP1, CP2, CP3 e CP5)

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **17:38:39** Trabalho nº **22146**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 28 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	**7854**	**258**	**32.84**	**72**	**0.45**
Número CPs	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Média	**7854**	**257.9**	**32.84**	**72.21**	**0.4496**
Mediana	**7854**	**257.9**	**32.84**	**72.21**	**0.4496**
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	**7854**	**257.9**	**32.84**	**72.21**	**0.4496**
Máximo	**7854**	**257.9**	**32.84**	**72.21**	**0.4496**



Relatório de Ensaio

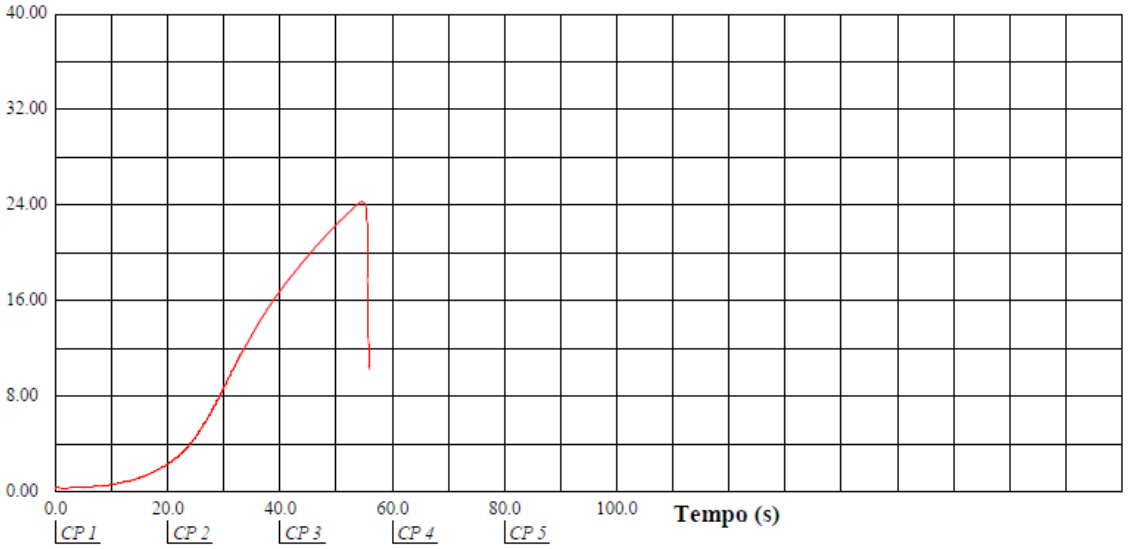
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:43:43** Trabalho n° **22167**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 28 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	191	24.35	55	0.44
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	191.2	24.35	54.69	0.4383
Mediana	7854	191.2	24.35	54.69	0.4383
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	191.2	24.35	54.69	0.4383
Máximo	7854	191.2	24.35	54.69	0.4383

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

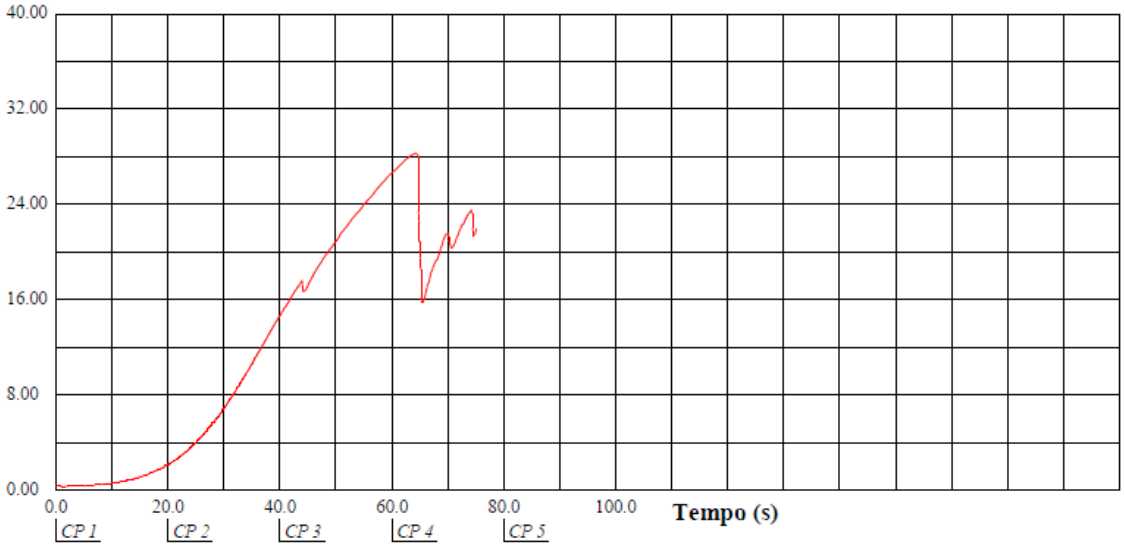
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:47:20** Trabalho nº **22169**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 28 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	222	28.32	64	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	222.4	28.32	64.43	0.4338
Mediana	7854	222.4	28.32	64.43	0.4338
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	222.4	28.32	64.43	0.4338
Máximo	7854	222.4	28.32	64.43	0.4338

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

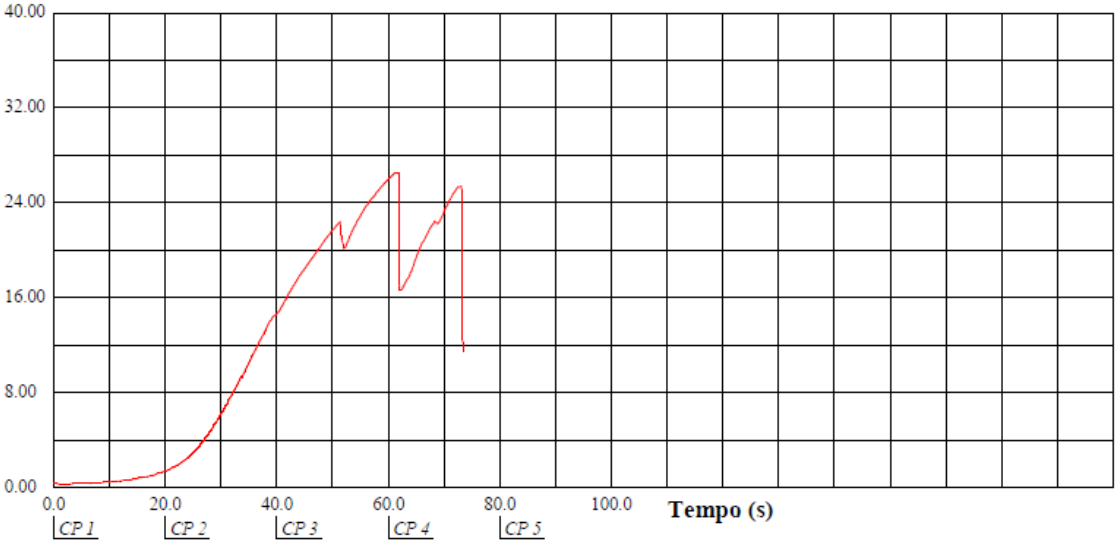
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:49:44** Trabalho nº **22170**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **30 - 28 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	209	26.60	62	0.42
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	208.9	26.60	61.82	0.4242
Mediana	7854	208.9	26.60	61.82	0.4242
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	208.9	26.60	61.82	0.4242
Máximo	7854	208.9	26.60	61.82	0.4242

Tensão (MPa)



ANEXO H – Ensaio de Compressão Simples – 40 MPa (7 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

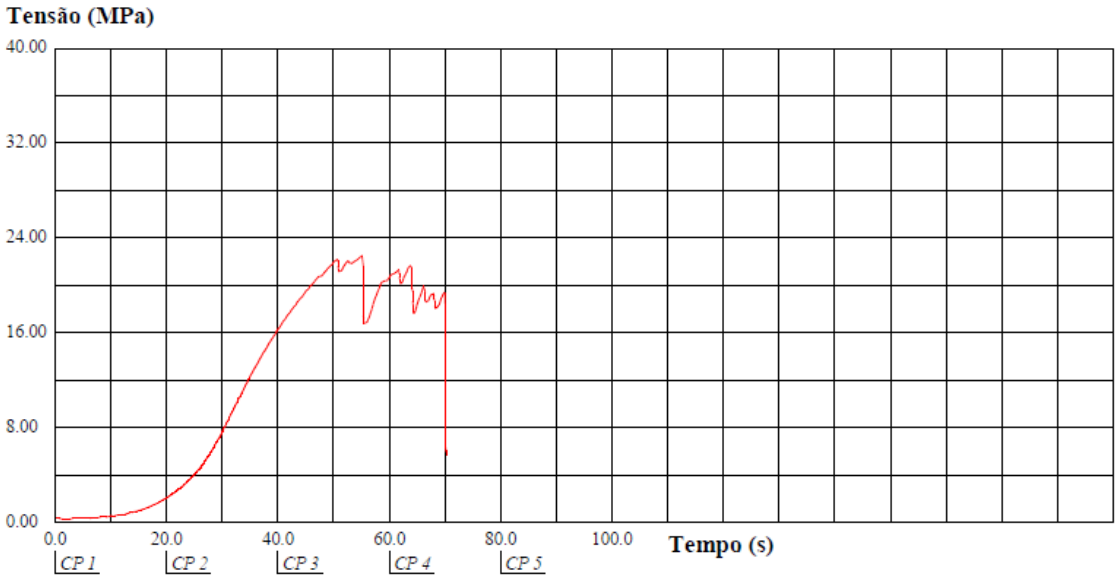
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **23/10/2024** Hora: **14:19:53** Trabalho n° **21937**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 7 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	177	22.53	55	0.40
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	177.0	22.53	55.14	0.4019
Mediana	7854	177.0	22.53	55.14	0.4019
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	177.0	22.53	55.14	0.4019
Máximo	7854	177.0	22.53	55.14	0.4019



Relatório de Ensaio

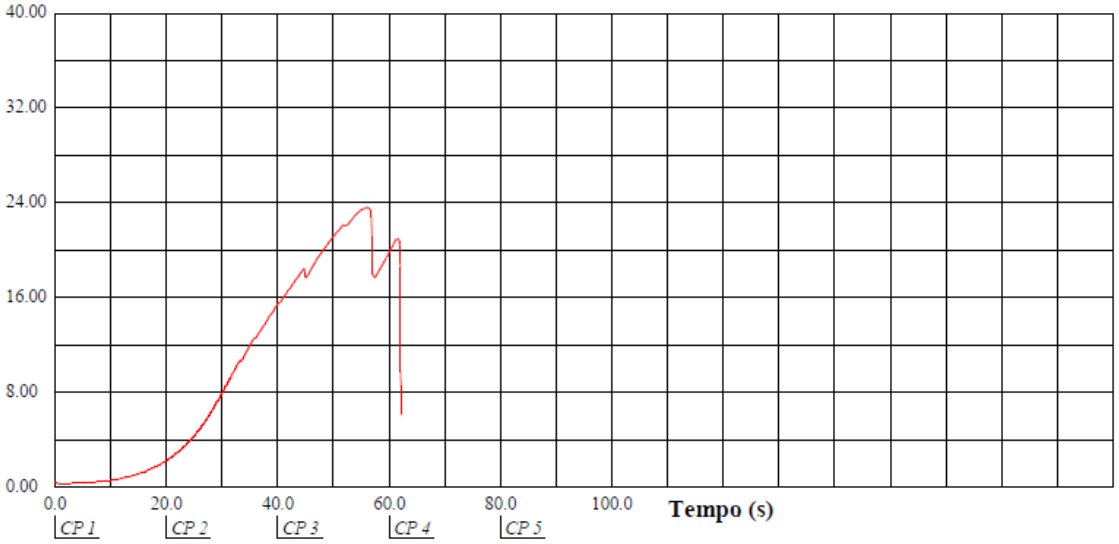
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **23/10/2024** Hora: **15:00:03** Trabalho nº **21942**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 7 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	186	23.63	56	0.41
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	185.6	23.63	56.09	0.4147
Mediana	7854	185.6	23.63	56.09	0.4147
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	185.6	23.63	56.09	0.4147
Máximo	7854	185.6	23.63	56.09	0.4147

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

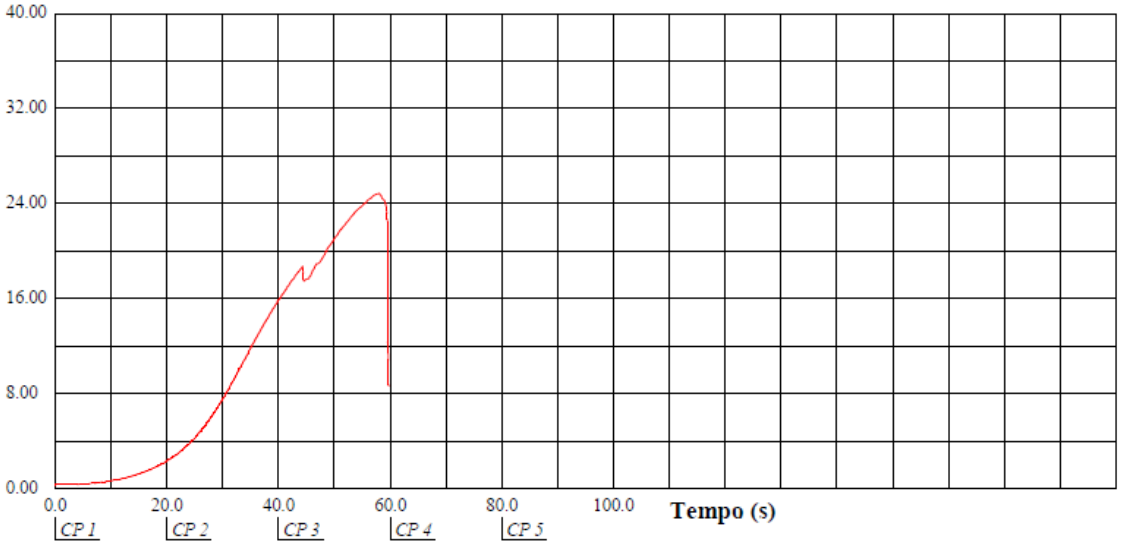
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **23/10/2024** Hora: **15:02:31** Trabalho nº **21943**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 7 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	195	24.86	58	0.42
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	195.3	24.86	58.10	0.4215
Mediana	7854	195.3	24.86	58.10	0.4215
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	195.3	24.86	58.10	0.4215
Máximo	7854	195.3	24.86	58.10	0.4215

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

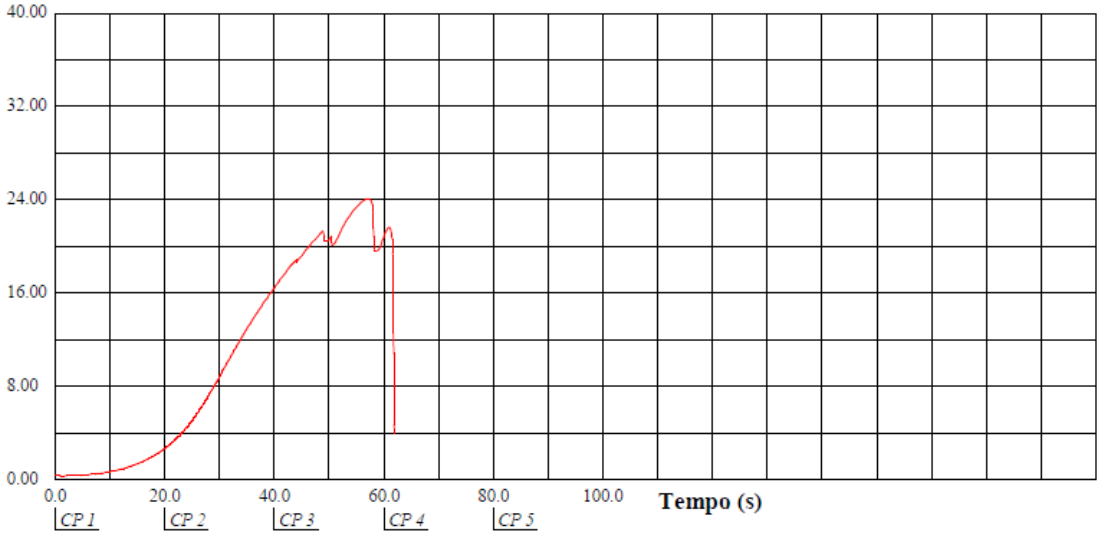
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **23/10/2024** Hora: **15:05:01** Trabalho nº **21944**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 7 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	189	24.12	57	0.41
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	189.4	24.12	57.38	0.4138
Mediana	7854	189.4	24.12	57.38	0.4138
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	189.4	24.12	57.38	0.4138
Máximo	7854	189.4	24.12	57.38	0.4138

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

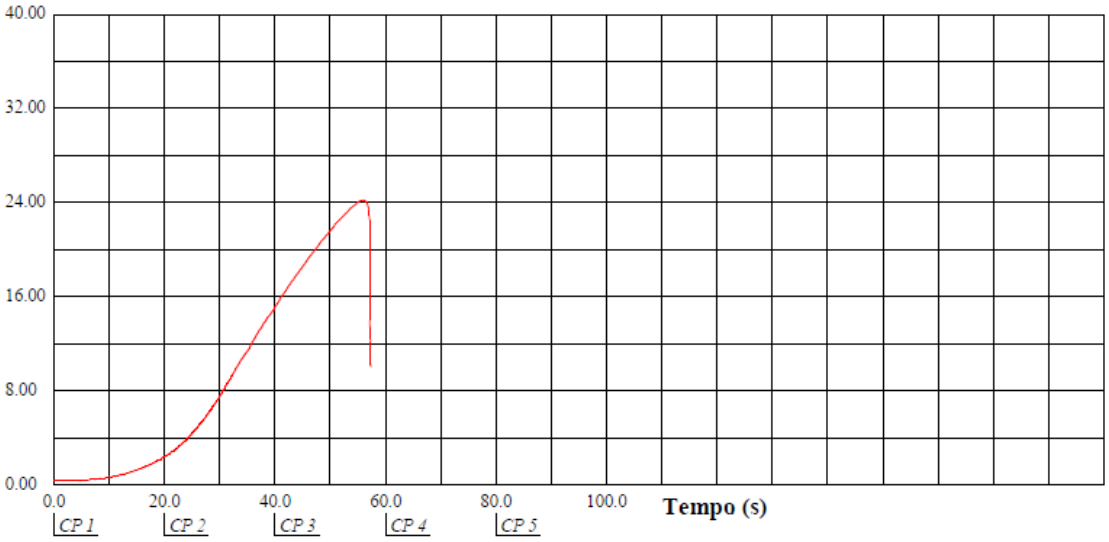
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **23/10/2024** Hora: **15:07:29** Trabalho nº **21945**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 7 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	191	24.26	56	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	190.5	24.26	56.05	0.4261
Mediana	7854	190.5	24.26	56.05	0.4261
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	190.5	24.26	56.05	0.4261
Máximo	7854	190.5	24.26	56.05	0.4261

Tensão (MPa)



ANEXO I – Ensaio de Compressão Simples – 40 MPa (14 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

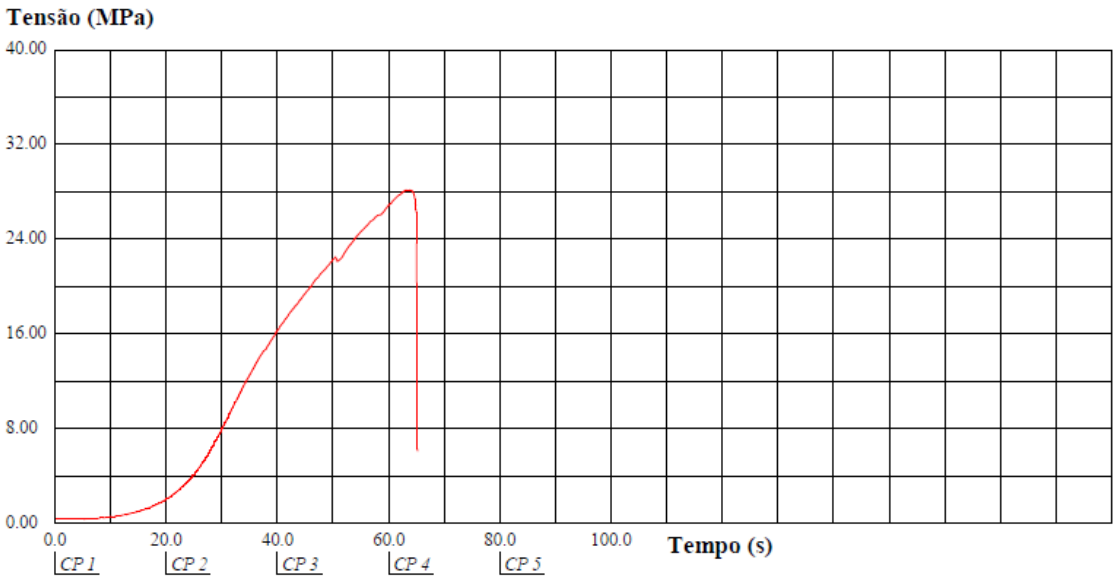
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **30/10/2024** Hora: **16:26:09** Trabalho n° **22022**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 14 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	222	28.21	64	0.44
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	221.6	28.21	63.77	0.4365
Mediana	7854	221.6	28.21	63.77	0.4365
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	221.6	28.21	63.77	0.4365
Máximo	7854	221.6	28.21	63.77	0.4365



Relatório de Ensaio

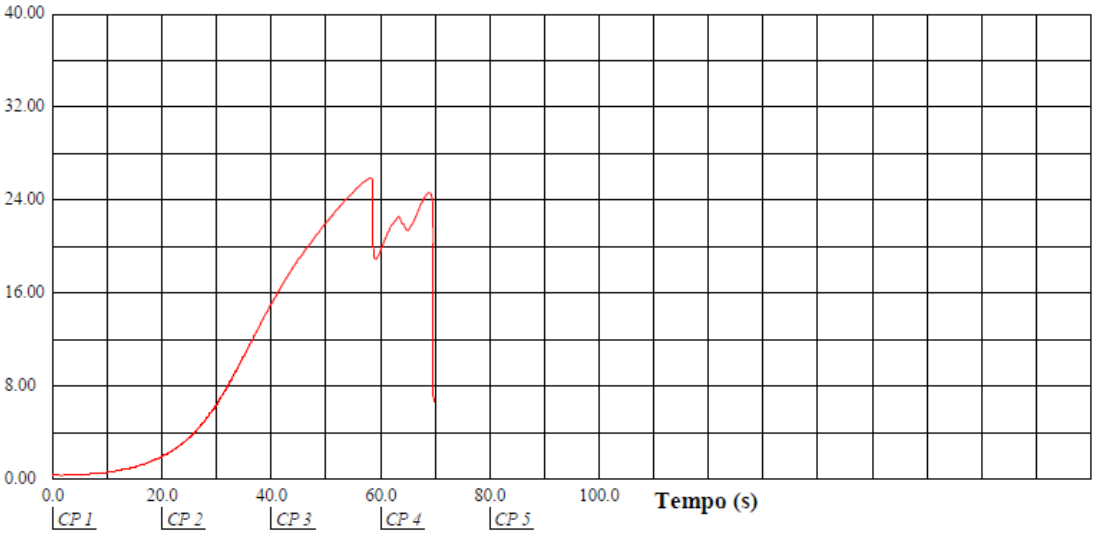
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **Trd 11** Data: **30/10/2024** Hora: **17:52:23** Trabalho nº **22027**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 14 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	204	25.95	58	0.44
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	203.8	25.95	58.39	0.4381
Mediana	7854	203.8	25.95	58.39	0.4381
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	203.8	25.95	58.39	0.4381
Máximo	7854	203.8	25.95	58.39	0.4381

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

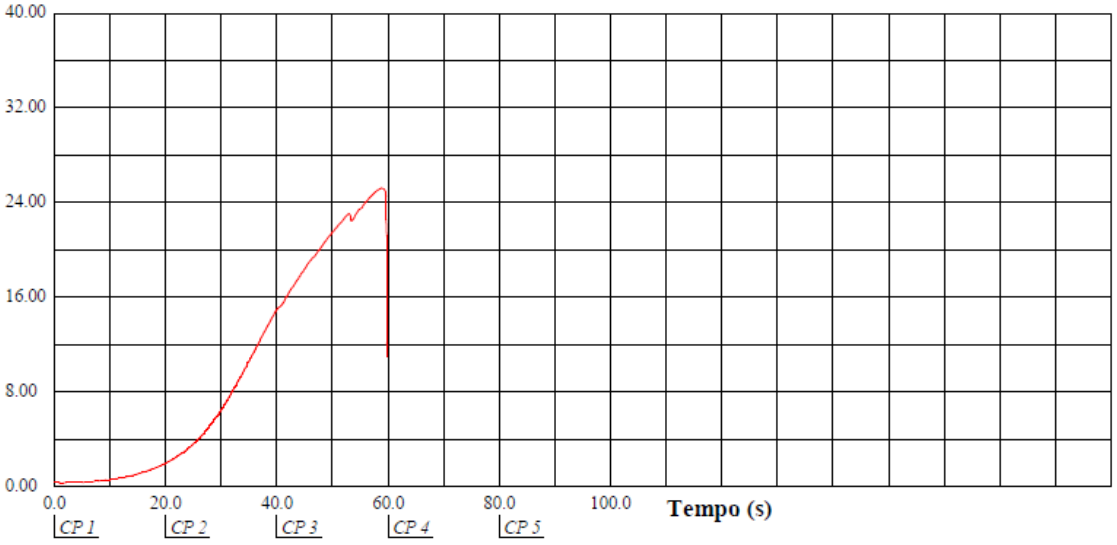
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **30/10/2024** Hora: **17:55:33** Trabalho n° **22028**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 14 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	198	25.23	59	0.42
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	198.2	25.23	58.77	0.4229
Mediana	7854	198.2	25.23	58.77	0.4229
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	198.2	25.23	58.77	0.4229
Máximo	7854	198.2	25.23	58.77	0.4229

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

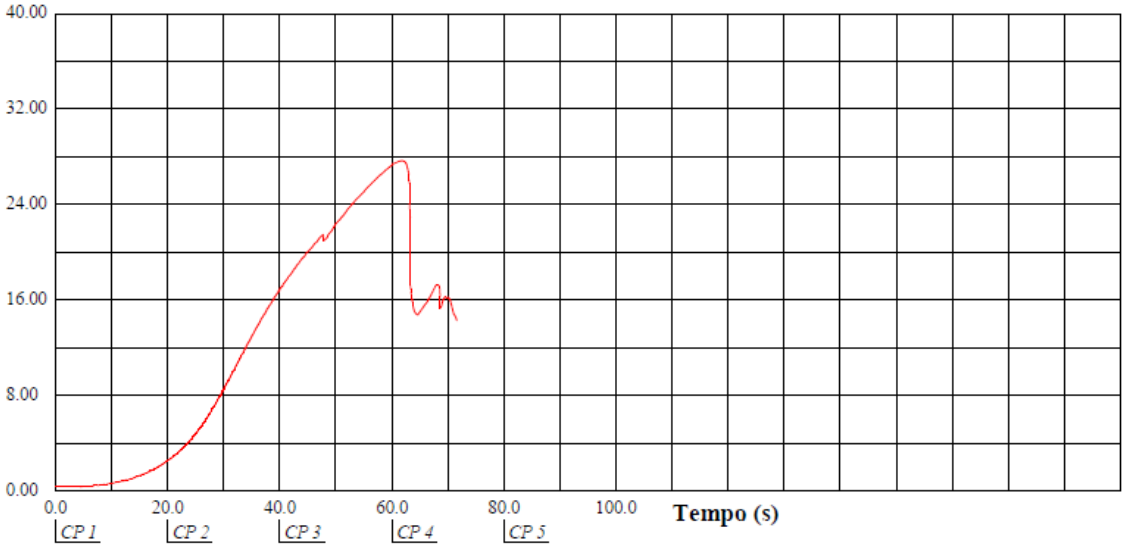
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **30/10/2024** Hora: **17:57:55** Trabalho nº **22029**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 14 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	218	27.73	62	0.44
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	217.8	27.73	61.84	0.4423
Mediana	7854	217.8	27.73	61.84	0.4423
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	217.8	27.73	61.84	0.4423
Máximo	7854	217.8	27.73	61.84	0.4423

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

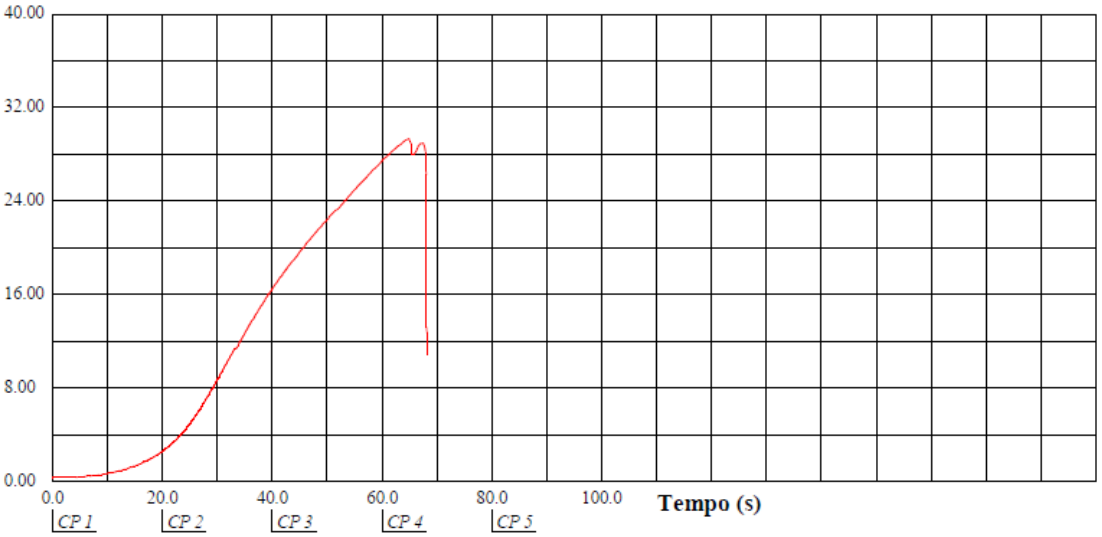
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **30/10/2024** Hora: **18:00:52** Trabalho nº **22030**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 14 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	**7854**	**231**	**29.35**	**65**	**0.45**
Número CPs	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Média	**7854**	**230.5**	**29.35**	**64.91**	**0.4464**
Mediana	**7854**	**230.5**	**29.35**	**64.91**	**0.4464**
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	**7854**	**230.5**	**29.35**	**64.91**	**0.4464**
Máximo	**7854**	**230.5**	**29.35**	**64.91**	**0.4464**

Tensão (MPa)



ANEXO J – Ensaio de Compressão Simples – 40 MPa (21 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

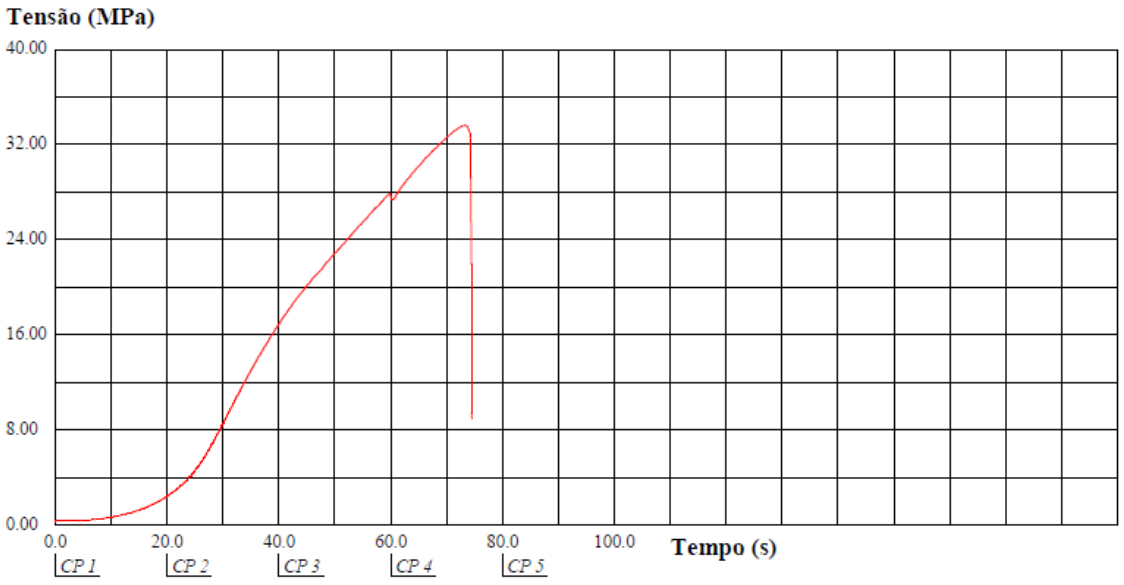
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **17:43:35** Trabalho n° **22071**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 21 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	264	33.65	73	0.45
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	264.3	33.65	73.33	0.4539
Mediana	7854	264.3	33.65	73.33	0.4539
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	264.3	33.65	73.33	0.4539
Máximo	7854	264.3	33.65	73.33	0.4539



Relatório de Ensaio

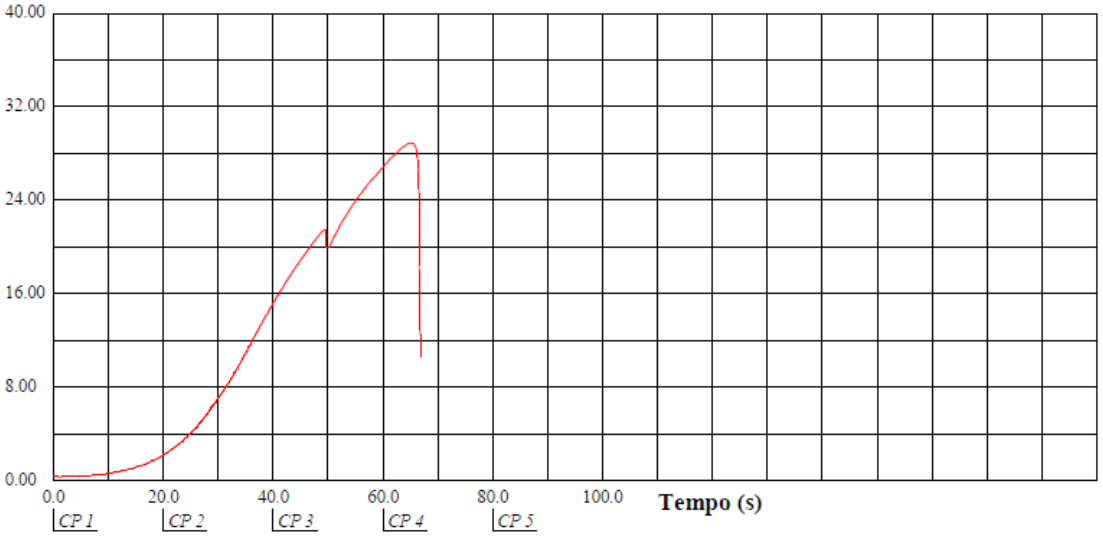
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:36:23** Trabalho n° **22092**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 21 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	227	28.94	65	0.44
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	227.3	28.94	65.10	0.4387
Mediana	7854	227.3	28.94	65.10	0.4387
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	227.3	28.94	65.10	0.4387
Máximo	7854	227.3	28.94	65.10	0.4387

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

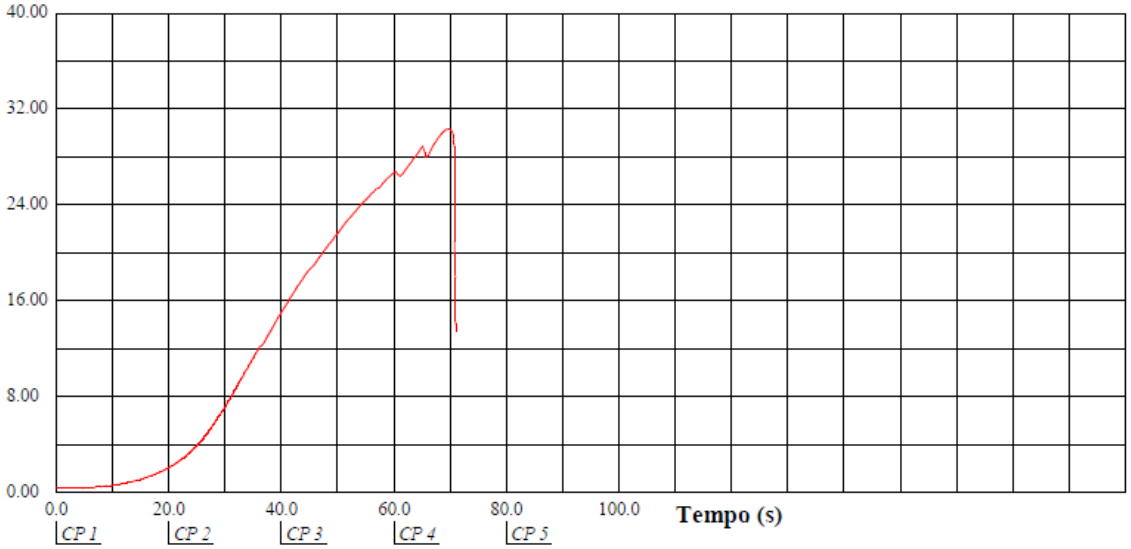
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:38:47** Trabalho n° **22093**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 21 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	239	30.39	70	0.43
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	238.7	30.39	69.90	0.4293
Mediana	7854	238.7	30.39	69.90	0.4293
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	238.7	30.39	69.90	0.4293
Máximo	7854	238.7	30.39	69.90	0.4293

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

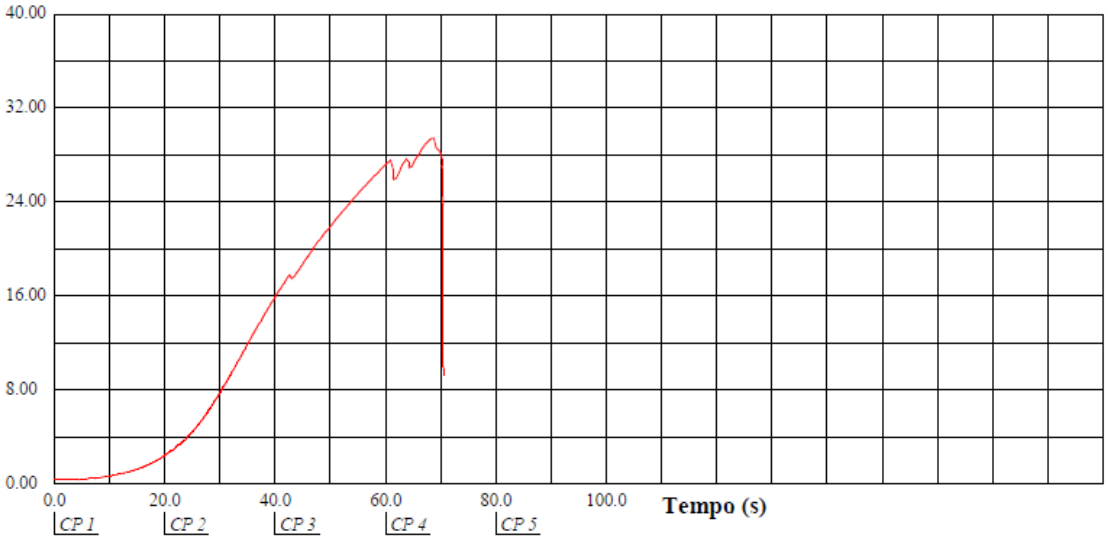
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:41:24** Trabalho nº **22094**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 21 dias - CP4**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	**7854**	**232**	**29.49**	**69**	**0.42**
Número CPs	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Média	**7854**	**231.6**	**29.49**	**68.75**	**0.4234**
Mediana	**7854**	**231.6**	**29.49**	**68.75**	**0.4234**
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	**7854**	**231.6**	**29.49**	**68.75**	**0.4234**
Máximo	**7854**	**231.6**	**29.49**	**68.75**	**0.4234**

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

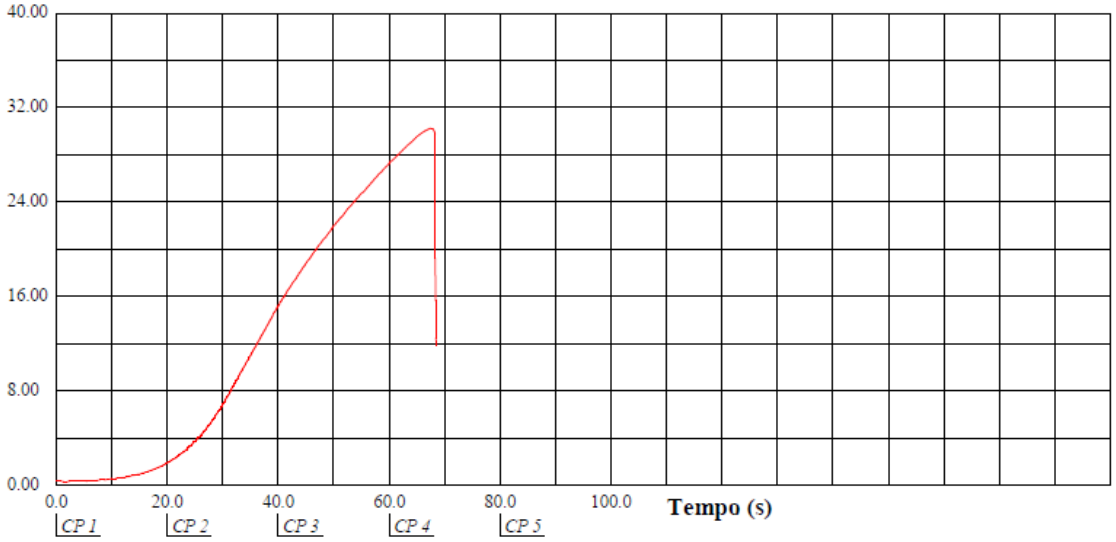
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **12/11/2024** Hora: **18:44:16** Trabalho n° **22095**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 21 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	**7854**	**238**	**30.27**	**67**	**0.44**
Número CPs	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Média	**7854**	**237.7**	**30.27**	**67.48**	**0.4430**
Mediana	**7854**	**237.7**	**30.27**	**67.48**	**0.4430**
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	**7854**	**237.7**	**30.27**	**67.48**	**0.4430**
Máximo	**7854**	**237.7**	**30.27**	**67.48**	**0.4430**

Tensão (MPa)

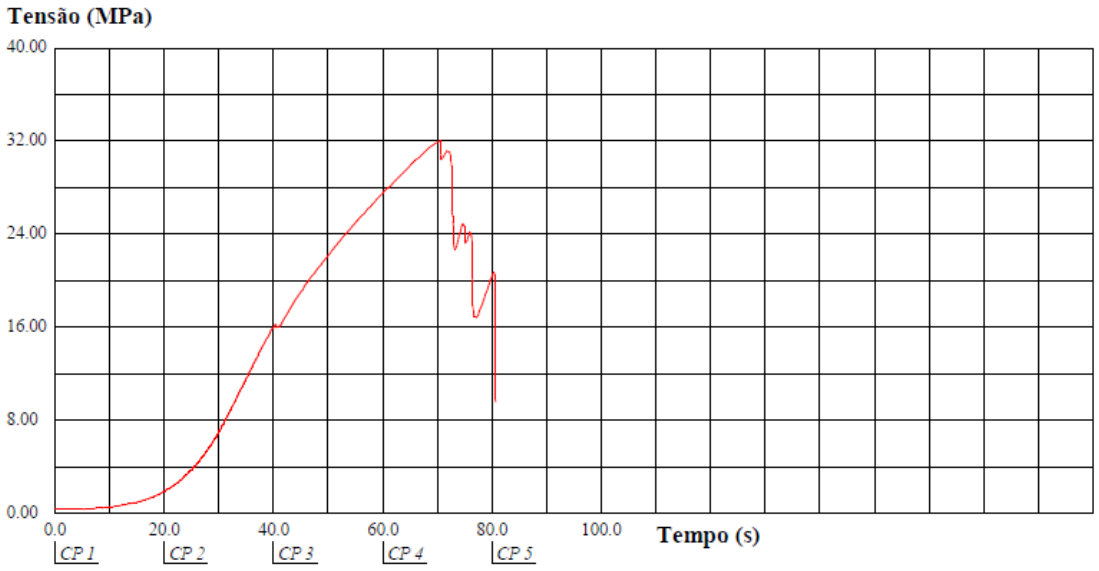


ANEXO K – Ensaio de Compressão Simples – 40 MPa (28 dias – CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5)

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **17:55:10** Trabalho nº **22148**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 28 dias - CP1**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	252	32.03	71	0.45
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	251.6	32.03	70.61	0.4483
Mediana	7854	251.6	32.03	70.61	0.4483
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	251.6	32.03	70.61	0.4483
Máximo	7854	251.6	32.03	70.61	0.4483

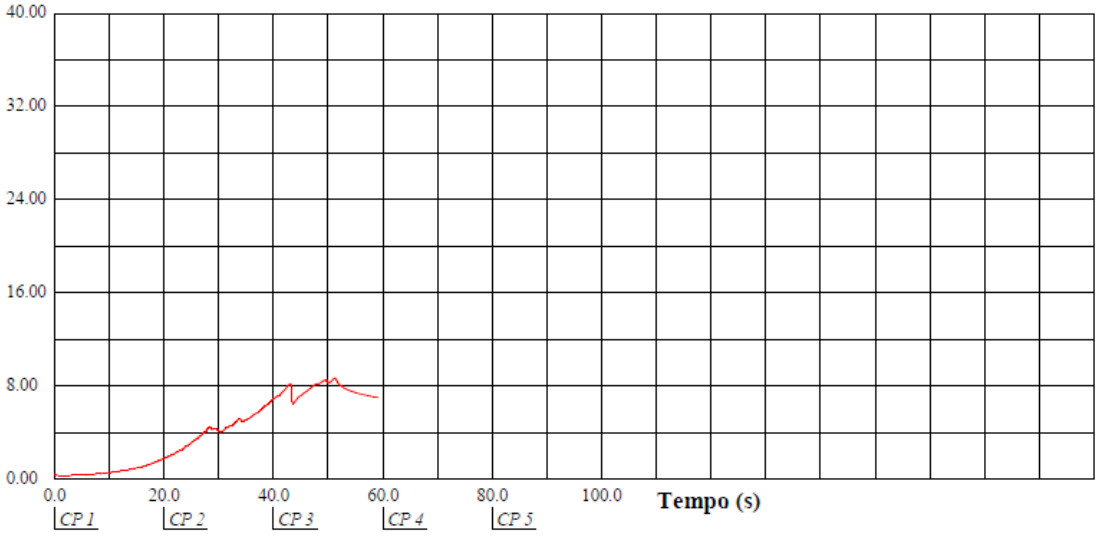


Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:52:48** Trabalho nº **22171**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 28 dias - CP2**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	7854	69	8.75	51	0.16
Número CPs	1	1	1	1	1
Média	7854	68.69	8.746	51.25	0.1633
Mediana	7854	68.69	8.746	51.25	0.1633
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	7854	68.69	8.746	51.25	0.1633
Máximo	7854	68.69	8.746	51.25	0.1633

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

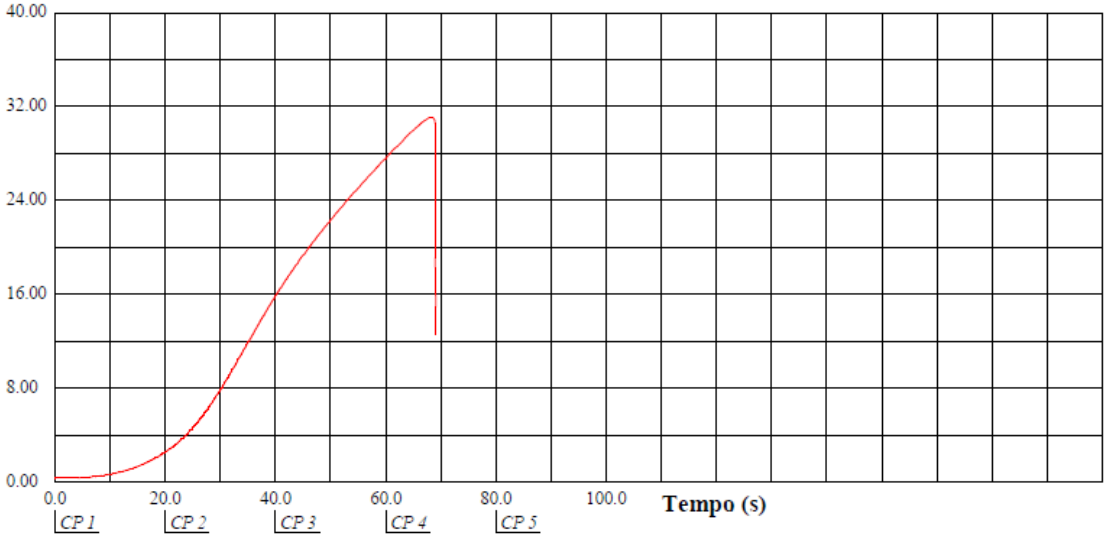
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:55:11** Trabalho nº **22172**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 28 dias - CP3**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	**7854**	**245**	**31.14**	**69**	**0.45**
Número CPs	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Média	**7854**	**244.6**	**31.14**	**68.53**	**0.4489**
Mediana	**7854**	**244.6**	**31.14**	**68.53**	**0.4489**
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	**7854**	**244.6**	**31.14**	**68.53**	**0.4489**
Máximo	**7854**	**244.6**	**31.14**	**68.53**	**0.4489**

Tensão (MPa)



Relatório de Ensaio

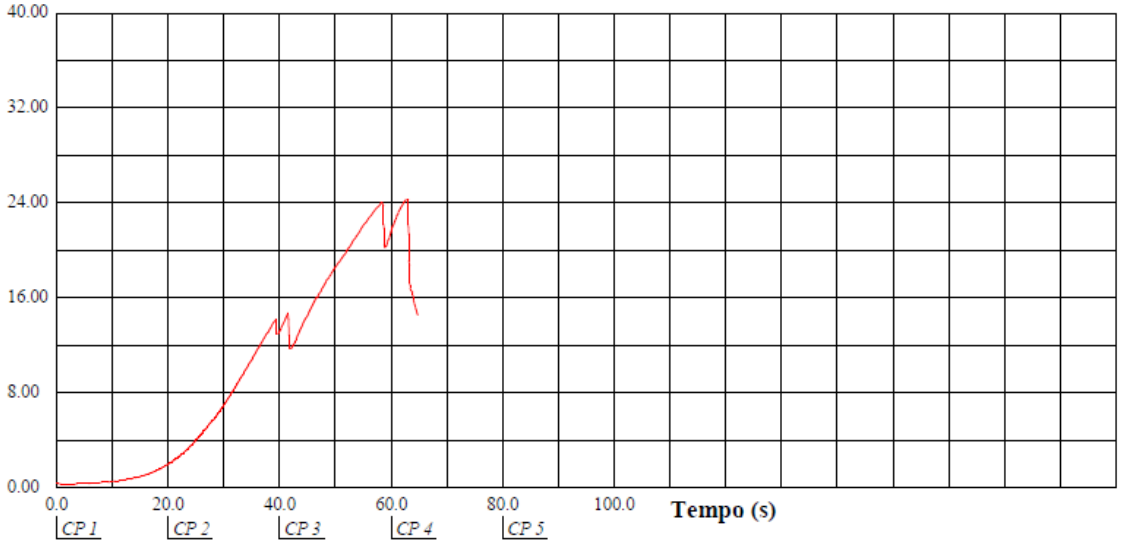
Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **18/11/2024** Hora: **18:58:08** Trabalho n° **22173**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Cilindrica NBR15270**

Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Professor(a): **Donin** Disciplina: **TCC II - Ana** Material: **40 - 28 dias - CP5**

Corpo de Prova	Área (mm2)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Tempo Ensaio (s)	Incremento de Tensão (MPa/s)
CP 1	**7854**	**191**	**24.36**	**63**	**0.38**
Número CPs	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Média	**7854**	**191.3**	**24.36**	**63.09**	**0.3802**
Mediana	**7854**	**191.3**	**24.36**	**63.09**	**0.3802**
Desv.Padrão	*	*	*	*	*
Coef.Var.(%)	*	*	*	*	*
Mínimo	**7854**	**191.3**	**24.36**	**63.09**	**0.3802**
Máximo	**7854**	**191.3**	**24.36**	**63.09**	**0.3802**

Tensão (MPa)



UNISC
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Av. Independência, 2293 - 96815-900 - Santa Cruz do Sul - RS
Fone: (51) 3717.7300 - Fax: (51) 3717.1855 - info@unisc.br - www.unisc.br