

**FUNDAÇÃO CARMELITANA MÁRIO PALMÉRIO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ALEXANDRE MENDES FERREIRA**

**ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E  
À TRAÇÃO DO CONCRETO**

**MONTE CARMELO – MG  
DEZEMBRO / 2018**

**ALEXANDRE MENDES FERREIRA**

**ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E  
À TRAÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Fundação Carmelitana Mário Palmério – FUCAMP, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Me. Juliete Ribeiro  
Silva

**MONTE CARMELO – MG  
DEZEMBRO / 2018**

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, também aos meus pais,  
irmã, sobrinha, tias e namorada, pelo fato de todos sempre me  
apoiarem, me ajudando sempre a ser melhor e me ensinando a nunca  
desistir dos meus sonhos.  
É por vocês!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por estar sempre comigo, me dando forças para persistir e alcançar este sonho, um dos muitos que virão;

Agradeço aos meus pais Abadia e Geraldo, que muitas das vezes deixaram seus sonhos de lado, para que eu sonhasse e pudesse realizar;

À minha irmã Aline, que também sempre esteve comigo, me ajudando e me apoiando em minhas ideias;

Às minhas tias Valdete, Michele e Milene, por terem ajudado a me moldar, ajudando-me a ser quem sou e por serem tão importantes em minha vida;

À minha namorada Cecília, por apoiar meus sonhos, ter me dado força e ânimo nos momentos de desânimo, e estar sempre ao meu lado;

Aos meus amigos, que sonhamos juntos em alcançar esse objetivo desde o início, e sonharemos juntos pelos objetivos que virão;

E à todos os meus professores, em especial Hélio e Juliete, pela orientação, paciência, amizade, compromisso e sabedoria, pois sem eles, seria muito difícil a conclusão desse trabalho.

Agradeço a todos e a cada um, muito obrigado!

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao  
tocar uma alma humana seja apenas outra alma humana”  
(Carl G. Jung).

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento do concreto por meio de análises experimentais de 08 corpos de prova com dimensões de 10x20 cm, confeccionados por dois traços de diferentes classes de concreto, rompidos aos 28 dias através de ensaios de compressão axial e cálculos para a obtenção da resistência à tração por compressão diametral, obedecendo as normas vigentes. Após a confecção e o rompimento dos mesmos, as características, geometria e resultados foram atribuídos à simulação computacional no *software* comercial de elementos finitos ANSYS®. Logo depois, os resultados experimentais e computacionais foram comparados, a fim de concluir que a simulação computacional é uma ferramenta de suma importância para a engenharia, pois permite previsões de comportamentos futuros e traz informações mais amplas, que muitas vezes não são encontradas nitidamente por meios experimentais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Corpo de prova; Análise experimental; Análise computacional; Ansys.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Materiais calculados para o Traço 1 (a) e para Traço 2 (b). .....	22
Figura 2 - Molde revestido internamente com desmoldante. ....	22
Figura 3 - Imprimação da betoneira. ....	23
Figura 4 - Materiais para ensaio de abatimento.....	23
Figura 5 - Posicionamento para preenchimento do molde. ....	24
Figura 6 - Preenchimento do molde. ....	24
Figura 7 - Adensamento com haste de socamento. ....	25
Figura 8 - Retirada cuidadosa do molde do Traço 1 (a) e do Traço 2 (b). ....	25
Figura 9 - Abatimento do tronco de cone do Traço 1 (a) e do Traço 2 (b). ....	26
Figura 10 - Adição do concreto no molde utilizando concha com seção U. ....	27
Figura 11 - Nivelando o concreto com a haste antes do adensamento. ....	28
Figura 12 - Adensamento da primeira camada. ....	28
Figura 13 - Adensamento da última camada com excesso de concreto. ....	29
Figura 14 - Rasamento com a borda do molde. ....	29
Figura 15 - Local de cura inicial.....	30
Figura 16 - Desmoldagem dos corpos de prova após a cura inicial. ....	30
Figura 17 - Corpos de prova em solução saturada de hidróxido de cálcio. ....	31
Figura 18 - Condições iniciais. ....	32
Figura 19 - Malha de elementos finitos para geração dos resultados. ....	33
Figura 20 - CP1 do Traço 1 após ensaio de compressão. ....	35
Figura 21 - CP2 do Traço 1 após ensaio de compressão. ....	35
Figura 22 - CP3 do Traço 1 após ensaio de compressão. ....	35
Figura 23 - CP4 do Traço 1 após ensaio de compressão. ....	36
Figura 24 - CP1 do Traço 2 após ensaio de compressão. ....	36
Figura 25 - CP2 do Traço 2 após ensaio de compressão. ....	37
Figura 26 - CP3 do Traço 2 após ensaio de compressão. ....	37
Figura 27 - CP4 do Traço 2 após ensaio de compressão. ....	37
Figura 28 - Resistência à compressão em função da média calculada do Traço 1 e do Traço 2. .....	39
Figura 29 - Resistência à tração em função da média calculada do Traço 1 e do Traço 2. ....	39
Figura 30 - Tensão em função da média calculada dos CPs do Traço 1. ....	40

Figura 31 - Deformação em função da média calculada dos CPs do Traço 1.....	41
Figura 32 - Tensão em função da média calculada dos CPs do Traço 2. ....	41
Figura 33 - Deformação em função da média calculada dos CPs do Traço 2.....	42



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição dos traços utilizados. ....	20
Tabela 2 - Quantitativo dos agregados utilizados.....	21
Tabela 3 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova. ....	27
Tabela 4 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão.....	34
Tabela 5 - Resultados da resistência a tração. ....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### ABREVIATURAS

MPa	Megapascal
cm	Centímetro
CPII	Cimento Portland Composto
F	Fíler
kg	Quilograma
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
mm	Milímetro
ml	Mililitro
CPs	Corpos de prova
s	Segundo
Ton	Tonelada
N	Newton

### SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras
NM	Normatização Mercosul
FUCAMP	Fundação Carmelitana Mário Palmério

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f_{ck}$	Resistência característica do concreto à compressão
$f_{ct,sp}$	Resistência à tração por compressão diametral
$f_c$	Resistência a compressão
F	Força máxima alcançada
D	Diâmetro do corpo de prova
$f_{ct}$	Resistência à tração
$f_{ct,m}$	Valor médio da resistência à tração
$f_{ctk,inf}$	Valor inferior da resistência característica
$f_{ctk,sup}$	Valor superior da resistência característica
$f_{cm}$	Resistência média do concreto à compressão
$f_{ctm}$	Resistência média do concreto à tração
$\pi$	Valor de pi
r	Raio da base do molde
h	Altura do molde
V	Volume
$E_s$	Módulo de elasticidade

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Objetivos</b> .....	13
<i>1.1.1 Objetivos gerais</i> .....	13
<i>1.1.2 Objetivos específicos</i> .....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1 Concreto</b> .....	14
<i>2.1.1 Características e propriedades do concreto</i> .....	14
<b>2.2 Resistência à compressão</b> .....	16
<i>2.2.1 Corpo de prova cilíndrico</i> .....	16
<b>2.3 Resistência à tração</b> .....	17
<b>2.4 Simulação computacional</b> .....	17
<i>2.4.1 Ansys®</i> .....	18
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	19
<b>3.1 Materiais utilizados</b> .....	19
<b>3.2 Traço do concreto</b> .....	19
<i>3.2.1 Quantitativo dos agregados e adaptação para a quantidade necessária de concreto</i> ..	20
<b>3.3 Corpos de prova: dimensões, preparo do concreto e deslocamento</b> .....	22
<b>3.4 Ensaio de compressão axial de corpos de prova cilíndricos</b> .....	31
<b>3.5 Ensaio de compressão diametral de corpos de prova cilíndricos</b> .....	31
<b>3.6 Simulações computacionais</b> .....	32
<b>3.7 Comparação de resultados: Ensaios experimentais x Simulações computacionais</b> ...	33
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
<b>4.1 Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial</b> .....	34
<b>4.2 Resultados dos ensaios de resistência à compressão diametral</b> .....	38
<b>4.3 Análise gráfica</b> .....	38
<b>4.4 Resultados da simulação computacional - ANSYS®</b> .....	39
<b>4.5 Comparação dos resultados</b> .....	42
<i>4.5.1 Comparação dos corpos de prova com a simulação computacional do traço 1</i> .....	42
<i>4.5.2 Comparação dos corpos de prova com a simulação computacional do traço 2</i> .....	42
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	43
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto, seja ele armado, protendido ou auto adensável, tem uma diversa gama de aplicações em diferentes obras da engenharia por todo o mundo; abrangendo a área de edificações, transportes, e até mesmo, a área de recursos hídricos. Sua mais notável aplicação concentra-se em sua função estrutural (FERNANDES, 2014).

Quanto a sua formação, o concreto é obtido através de uma mistura com dosagem adequada entre cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Em algumas situações, são incorporados produtos químicos ou outros componentes, conhecidos como aditivos. As adições tem a finalidade de melhorar algumas propriedades, como aumentar a trabalhabilidade, a resistência e retardar a velocidade das reações químicas que ocorrem no concreto. As diversas características que o concreto endurecido deve apresentar para que possa ser utilizado dependem fundamentalmente do planejamento e dos cuidados na execução (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

Tal planejamento consiste em definir as propriedades desejadas do concreto, analisar e escolher os materiais existentes ou disponíveis, estabelecer uma metodologia para definir o traço (proporção entre os componentes), os equipamentos para mistura, o transporte, o adensamento e a cura (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016). Sendo assim, a escolha adequada dos componentes e a análise dos procedimentos de produção do concreto são fundamentais para obtenção das suas principais propriedades de interesse.

No que se refere as propriedades mecânicas do concreto, podem ser citadas sua resistência à compressão e à tração, sendo a sua principal propriedade, a resistência à compressão, que geralmente é usada como controle de fabricação (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2007). Os resultados de tal característica normalmente são obtidos através de ensaios feitos com corpos de prova cilíndricos, colocados entre os pratos da prensa com o seu eixo na vertical em obediência a ABNT NBR 5739:2018 – Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico.

Quanto a resistência à tração, existem diferentes modos de obtenção dessa característica, sendo que o principal deles consiste em um ensaio de compressão diametral, no qual se coloca o corpo de prova cilíndrico entre os pratos da prensa com seu eixo na posição horizontal e então se aplica uma força de compressão até a sua ruptura (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016). Na impossibilidade de execução desse ensaio, a resistência à tração do concreto pode ser determinada através de correlações entre ensaios de compressão, por exemplo.

Aliado as determinações experimentais, tais propriedades podem ser obtidas por meio de simulações computacionais, as quais consistem em construir um modelo, atribuindo as características dos devidos materiais; analisar seu comportamento, fazendo conclusões sobre o mesmo e usar tais informações para prever comportamentos futuros (DIAS, 2014).

Diante do que foi exposto, é possível verificar a importância dos procedimentos experimentais e computacionais para determinação de propriedades mecânicas dos materiais como forma de previsão do seu desempenho estrutural, tão fundamental à utilização no campo das engenharias.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivos gerais***

O objetivo principal desse trabalho é a determinação das propriedades mecânicas fundamentais do concreto por meio de análises experimentais de corpos de prova fabricados com traços específicos e também simulações computacionais a fim de comparar e complementar os resultados obtidos experimentalmente.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

Os objetivos específicos são:

- Determinar a resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ) em corpos de prova de concreto moldados segundo ABNT NBR 5738:2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – e rompidos através de procedimento estabelecido pela ABNT NBR 5739:2018;
- Avaliar a resistência à tração indireta ( $f_{ct,sp}$ ) através da correlação teórica do ensaio respaldado na ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto;
- Complementar a análise experimental com os resultados obtidos por simulação através do *software* comercial ANSYS®;
- Diagnosticar o comportamento mecânico dos corpos de prova de concreto, no que se refere às suas resistências, à compressão e à tração.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Concreto

É definido como concreto a mistura composta por uma quantidade adequada de agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedriscos), cimento Portland e água. Também podendo ser adicionado a ela aditivos e adições. Sabendo disso, para um concreto de boa qualidade, deve ser tomada a precaução de saber se esses materiais são de boa qualidade. A proporção deve ser adequada, com dosagem correta de cada material de sua constituição. A manipulação deve ser apropriada, com bastante cuidado no transporte, lançamento e adensamento após a mistura, e a cura precisa ser cuidadosa. Para uma cura cuidadosa, o concreto deve ser hidratado por um certo tempo após seu lançamento para ser evitada a evaporação prematura da água necessária a hidratação do cimento, sendo observada as condições ambientais (ALMEIDA, 2002).

#### 2.1.1 Características e propriedades do concreto

A seguir são citadas algumas características e propriedades do concreto:

- Concreto fresco: é constituído pelo concreto em estado plástico, apto ao adensamento. As propriedades desejáveis do concreto fresco são: consistência, trabalhabilidade e a homogeneidade, ou seja, características que proporcionam uma mistura fácil de transportar, lançar e adensar, sem que haja desunião.
- Consistência: esta é a primeira propriedade a ser observada após a confecção do concreto e tem relação com o estado de fluidez da mistura. A coesão entre os componentes tem relação direta com a consistência do concreto necessária para uma boa trabalhabilidade, sendo a quantidade de água adicionada o seu principal fator de variação, ou até mesmo a granulometria dos agregados empregados e aditivos incorporados. Um dos meios mais utilizados para se medir a consistência do concreto é o teste de abatimento ou *slump*, ensaio regido pela ABNT NBR NM 67:1998 – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone.
- Trabalhabilidade: relacionada à facilidade de manipulação de um concreto, ou seja, seu transporte, lançamento e adensamento. Assim como a consistência, a

trabalhabilidade também tem relação direta com o fator água/cimento, granulometria dos agregados e aditivos incorporados.

- **Homogeneidade:** quanto mais homogêneo os agregados estiverem distribuídos dentro da pasta, envolvidos pela mesma e sem segregação, melhor será a estrutura construída. Uma massa homogênea proporciona melhor permeabilidade à estrutura e à armadura. Portanto, quanto maior a segregação dos agregados na estrutura, maior poderá ser a perda de resistência e durabilidade da mesma.
- **Adensamento:** esta etapa consiste na agitação do concreto com a finalidade de reduzir os vazios que podem vir a existir na mistura, também diminuir a segregação dos componentes, as bolhas de ar incorporadas e preencher todos os recantos das formas, proporcionando à estrutura uma maior durabilidade. O adensamento pode ser feito manualmente, com o uso de hastes metálicas, ou mecanicamente, utilizando vibradores.
- **Início do endurecimento:** este é o momento em que se iniciam as reações químicas e a mistura fresca começa a se solidificar, ou seja, é quando o concreto deixa de ser trabalhável. Do momento em que a massa começa a enrijecer até quando a mesma atinge uma consistência que pode ser desformada, mesmo sem atingir sua resistência total, dá-se o nome de “pega”. Saber o momento de início e fim da pega permite uma melhor administração em relação ao manuseio do concreto (transporte, lançamento e adensamento).
- **Cura do concreto:** é constituída por um conjunto de medidas fundamentais para conservar a umidade necessária do concreto nas primeiras idades, fazendo assim com que as propriedades esperadas possam ser atingidas.
- **Concreto endurecido:** etapa em que o concreto se encontra no estado sólido e atinge sua resistência mecânica. A resistência mecânica é a principal característica de interesse do concreto endurecido devido à sua capacidade de resistir às solicitações de carregamento, sendo destacadas a resistência à compressão e à tração. A solicitação mais importante é a resistência à compressão, o ensaio fornece parâmetros relevantes para correlações e determinações de resultados de outras solicitações, como resistência à tração, por exemplo. Os ensaios para a obtenção dessas resistências são realizados de forma rápida, e podem variar devido ao formato do corpo de prova e características dos próprios ensaios.



## 2.2 Resistência à compressão

A principal característica do concreto é a resistência à compressão. Para avaliar a resistência de um concreto à compressão é necessário realizar ensaios de quatro corpos de prova onde eles são submetidos à compressão centrada, conforme ABNT NBR 5739:2018.

Independentemente do tipo de ensaio ou de sollicitação, diversos fatores influenciam na resistência do concreto endurecido, nos quais os principais são a relação entre as quantidades de cimento, agregados e água (chamadas de traço) e a idade do concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

### 2.2.1 Corpo de prova cilíndrico

No Brasil são utilizados corpos de prova cilíndricos, em que a altura deve ser igual ao dobro de seu diâmetro (20x10 cm, 30x15 cm, etc). A resistência à compressão do concreto deve ser relacionada à idade de 28 dias (ABNT NBR 6118:2014, item 8.2.4) e será estimada a partir do ensaio de uma determinada quantidade de corpo de prova.

Corpos de prova cilíndricos são moldados segundo a ABNT NBR 5738:2015, que deixa claro que a altura deve ser igual ao dobro do diâmetro e o plano da borda circular externa do molde deve ser perpendicular ao eixo longitudinal do molde. São rompidos como estabelece a ABNT NBR 5739:2018. A norma diz que, para o ensaio de compressão, o corpo de prova deve ser posicionado de modo que estando centralizado, o eixo coincida com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

Até o processo de ensaio, os corpos de prova devem ser mantidos em processo contínuo de cura úmida ou saturada. O carregamento deve ser aplicado continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento constante durante todo o ensaio, só deve ser finalizado quando houver a queda de força que indica ruptura (MAZEPA; RODRIGUES, 2011). Com o resultado do ensaio é feito o cálculo da resistência à compressão de acordo com a Equação 1:

$$f_c = \frac{4F}{\pi.D^2} \quad (1)$$

Sendo que:

$f_c$  – resistência à compressão (em Megapascals);

F – força máxima alcançada (em Newtons);

D – diâmetro do corpo de prova (em milímetros).

### 2.3 Resistência à tração

Para a determinação da resistência à tração ( $f_{ct}$ ), a ABNT NBR 6118:2014 esclarece que, na falta de ensaios para obtenção da tração indireta ( $f_{ct,sp}$ ), pode ser considerado o seu valor médio ou característico por meio das Equações 2 e 3:

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \times f_{ct,m} \quad (2)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 \times f_{ct,m} \quad (3)$$

Para concretos de classe até C50 usa-se, para a obtenção de  $f_{ct,m}$ , a Equação 4:

$$f_{ct,m} = 0,3 \times f_{ck}^{2/3} \quad (4)$$

Sendo que:

$f_{ck}$  – resistência característica à compressão do concreto (em Megapascals);

$f_{ct,m}$  – valor médio da resistência à tração (em Megapascals);

$f_{ctk,inf}$  e  $f_{ctk,sup}$  – são respectivamente os valores inferior e superior da resistência à tração característica superior utilizados nas análises estruturais, sendo que,  $f_{ctk,inf}$  é o mais utilizado por ser mais conservador à estrutura.

Essas propriedades e resultados também podem ser obtidos projetando um modelo computacional com base em um sistema real, com o mesmo propósito que o modelo experimental, que é entender o comportamento, avaliando estratégias para construir teorias e hipóteses, prevendo comportamentos futuros. Esse esquema se constitui como simulação computacional (PEGDEN; SHANNON; SADOWSKI, 1990).

### 2.4 Simulação computacional

Atualmente, a informação e o conhecimento assumem grande importância na preparação de indivíduos e empresas ao entendimento e à adaptação à realidade. A simulação

computacional é uma das ferramentas que podem ser utilizadas para aquisição, organização e construção do conhecimento e da visão do sistema. Esse recurso favorece a educação e o treinamento das pessoas e, conseqüentemente, sua adaptação às rápidas mudanças da sociedade (GAVIRA, 2003).

A simulação computacional é uma das ferramentas que permite a diversos profissionais, entre eles o engenheiro civil, realizar as atividades a que se propõe. Através dela, eles podem adquirir capacidades de identificar, formular e solucionar problemas ligados às atividades de projeto, principalmente estudar o desempenho de um sistema por meio da formulação de um modelo matemático, o qual deve reproduzir, fielmente, as características do sistema original. Manipulando o modelo e analisando os resultados, pode-se concluir como diversos fatores afetarão o desempenho do sistema (EHRlich, 1985).

#### **2.4.1 Ansys®**

O ANSYS® é um *software* de elementos finitos que pode solucionar uma grande gama de problemas de engenharia. Sua capacidade inclui habilidades para resolver diversas análises estruturais como: análise estática; análise modal; análise harmônica; análise dinâmica transiente; análise espectral; análise de flambagem e análise dinâmica explícita. Os primeiros parâmetros desconhecidos (grau de liberdade nodais) calculados ao se analisar uma estrutura são deslocamentos e rotações. Derivadas dos deslocamentos nodais, dispomos de outras características, como deformações, tensões e força de rotação (ANÁLISE..., 2018).

O procedimento para análise estrutural utilizando o *software* é dividido em três etapas, são elas: “Preprocessor”, “Solution” e “Postprocessor”. A primeira etapa, “Preprocessor”, consiste em se fazer a modelagem da estrutura, definir o tipo de elemento estrutural (barras, placas, etc.), as características do elemento e o tipo de material que o constitui. Ainda nessa etapa, são numerados os nós e as barras. Na segunda etapa, “Solution”, se realiza a definição dos tipos de forças que atuam na estrutura e suas condições de apoio e do tipo de análise estabelecido. Executada a análise da estrutura, inicia-se a terceira etapa, “Postprocessor”, em que é feita a apresentação dos resultados da análise da etapa anterior. Posteriormente, concluídas as análises estáticas e/ou dinâmicas, é que se pode utilizar o módulo de otimização e seus métodos e ferramentas (ANÁLISE..., 2018).

### 3 METODOLOGIA

Para este comparativo, foram confeccionados dois traços de concreto com características distintas, com resistência característica de 20 MPa e 40 MPa, onde foram moldados quatro corpos de prova cilíndricos (dimensões de 10x20 cm) de cada traço, de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. Após a confecção e os 28 dias de cura, os mesmos foram rompidos conforme ABNT NBR 5739:2018. Suas características foram reproduzidas também no *software* comercial ANSYS® sob condições de contorno similares àquelas estabelecidas experimentalmente. Por fim, os resultados obtidos por meio da simulação computacional foram comparados com aqueles obtidos experimentalmente para que, dessa forma, fosse feita uma avaliação da aproximação dos resultados e, conseqüentemente, validada a confecção do corpo de prova de concreto.

O concreto foi confeccionado com base nos traços dosados por Pereira (2017).

#### 3.1 Materiais utilizados

- Cimento Portland CII-F;
- Agregado miúdo – módulo de finura 1,24 (kg/m<sup>3</sup>);
- Agregado miúdo – módulo de finura 1,63 (kg/m<sup>3</sup>);
- Agregado graúdo – dimensão máxima 12,5 mm;
- Agregado graúdo – dimensão máxima 19 mm;
- Água;
- Aditivo hiperplastificante – MIRA FLOW 943 BMX.

#### 3.2 Traço do concreto

O concreto utilizado foi confeccionado no Laboratório de Práticas Construtivas da FUCAMP (Fundação Carmelitana Mário Palmério). Os traços utilizados têm resistência à compressão característica de 20 MPa e 40 MPa e foram adotados, conforme dito anteriormente.

Tabela 1- Composição dos traços utilizados.

<b>Materiais</b>	<b>20 MPa</b>	<b>40 MPa</b>
<b>Cimento</b>	315,99 kg/m <sup>3</sup>	459,27 kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado miúdo – módulo de finura 1,24</b>	290,71 kg/m <sup>3</sup>	257,19 kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado miúdo – módulo de finura 1,63</b>	543,5 kg/m <sup>3</sup>	477,64 kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado graúdo – dimensão máxima 12,5 mm</b>	265,43 kg/m <sup>3</sup>	275,56 kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado graúdo – dimensão máxima 19 mm</b>	796,28 kg/m <sup>3</sup>	826,69 kg/m <sup>3</sup>
<b>Água</b>	208,55 l	183,71 l
<b>Aditivo hiperplastificante</b>	0,86 ml	2,34 ml
<b>Traço</b>	<b>1:0,92+1,72:0,84+2,52:0,66</b>	<b>1:0,56+1,04:0,6+1,96:0,4</b>

Fonte: Adaptado de Pereira (2017).

### 3.2.1 *Quantitativo dos agregados e adaptação para a quantidade necessária de concreto*

Os traços de Pereira (2017), foram feitos para confecção de 1 m<sup>3</sup> de concreto, então, para que não haja desperdícios, houve uma adaptação da dosagem para o preenchimento de exatamente 4 moldes dos diferentes traços. Houve também o aumento de 10% ao quantitativo de cada agregado, sendo a porcentagem utilizada como percentual de perda.

O volume do molde de 10x20 cm é encontrado pela Equação 5:

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (5)$$

Sendo que:

V – volume do molde (em metros cúbicos);

r – raio da base do molde (em metros);

h – altura do molde (em metros).

Então, utilizando a Equação 5, o volume encontrado é:

$$V = \pi \times 0,05^2 \times 0,2 = 0,00157 \text{ m}^3$$

Após o volume do molde ser encontrado, esse resultado foi então multiplicado pela quantidade de quatro corpos de prova que foram preenchidos por cada traço para saber a quantidade necessária de concreto a ser confeccionado:

$$V_{total} = 0,00157 \times 4 = 0,00628 \text{ m}^3 \approx 0,007 \text{ m}^3$$

Com isso, o traço de Pereira (2017) também foi adaptado de 1 m<sup>3</sup> de concreto, para a quantidade de 0,007 m<sup>3</sup> de concreto mais 10% (percentual de perda). Chegando então aos resultados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantitativo dos agregados utilizados.

Resistência do concreto	20 MPa	40 MPa	Quantitativo total
<b>Traço de Pereira (2017)</b>	<b>1:0,92+1,72:0,84+2,52:0,66</b>	<b>1:0,56+1,04:0,6+1,96:0,4</b>	
<b>Cimento</b>	$(315,99 \times 0,007) + 10\%$ = 2,43 kg	$(459,27 \times 0,007) + 10\%$ = 3,54 kg	5,97 kg
<b>Agregado miúdo – módulo de finura 1,24 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	$(2,43 \times 0,92) + 10\% = 2,46$ kg	$(3,54 \times 0,56) + 10\% = 2,18$ kg	4,64 kg
<b>Agregado miúdo – módulo de finura 1,63 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	$(2,43 \times 1,72) + 10\% = 4,6$ kg	$(3,54 \times 1,04) + 10\% = 4,05$ kg	8,65 kg
<b>Agregado graúdo – dimensão máxima 12,5mm</b>	$(2,43 \times 0,84) + 10\% = 2,24$ kg	$(3,54 \times 0,6) + 10\% = 2,33$ kg	4,57 kg
<b>Agregado graúdo – dimensão máxima 19mm</b>	$(2,43 \times 2,52) + 10\% = 6,73$ kg	$(3,54 \times 1,96) + 10\% = 7,63$ kg	14,36 kg
<b>Água</b>	$(2,43 \times 0,66) + 10\% = 1,76$ litros	$(3,54 \times 0,4) + 10\% = 1,55$ litros	3,31 litros
<b>Aditivo</b>	$((0,86/315,99) \times 2,43) + 10\%$ = 7,27 ml	$((2,34/459,27) \times 3,54) + 10\%$ = 19,84 ml	27,11 ml

Fonte: O autor (2018).

Após o cálculo do quantitativo dos traços utilizados, foi obtida a quantidade necessária de agregados para moldagem do traço 1 e do traço 2. Mostrados na Figura 1 (a) e (b).

Figura 1 - Materiais calculados para o Traço 1 (a) e para Traço 2 (b).



Fonte: O autor (2018).

### 3.3 Corpos de prova: dimensões, preparo do concreto e deslocamento

Segundo a ABNT NBR 5738:2015, a altura do corpo de prova cilíndrico deve ser igual ao dobro do diâmetro. Sabendo disso, foi utilizado o molde com dimensões de 10x20 cm. O mesmo também era de um material não absorvente, que não tem reação com o cimento Portland e possuía abertura em seu extremo superior, permitindo facilmente a desmoldagem. Também, para facilitar a desmoldagem, o molde foi revestido internamente com uma fina camada de desmoldante, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Molde revestido internamente com desmoldante.



Fonte: O autor (2018).

Para iniciar a confecção do concreto, primeiramente foi feita a imprimação da betoneira, onde foram colocados 5 kg de cimento, 10 kg de areia, 15 kg de brita e 3 litros de

água na mesma, deixando rodar por 5 minutos, como é mostrado na Figura 3. Logo após, esta mistura foi descartada.

Figura 3 - Imprimação da betoneira.



Fonte: O autor (2018).

Após a imprimação da betoneira, iniciou-se então a produção do concreto utilizando os materiais necessários para o primeiro traço e, após sua conclusão, a produção do segundo traço.

Com o concreto confeccionado, foi feito o ensaio de abatimento por tronco de cone (*Slump Test*) utilizando os materiais da Figura 4.

Figura 4 - Materiais para ensaio de abatimento.



Fonte: O autor (2018).



O *Slump Test* é feito para se medir a consistência e a fluidez da confecção, e segundo a ABNT NBR NM 67:1998, inicialmente deve-se umedecer o molde e a placa base. Durante o preenchimento do molde, o operador deve pressionar com os pés nas aletas do molde como mostra a Figura 5, a fim de fixá-lo.

Figura 5 - Posicionamento para preenchimento do molde.



Fonte: O autor (2018).

O molde deve ser preenchido rapidamente por 3 camadas de concreto (Figura 6) e cada camada deve ser adensada com 25 golpes distribuídos uniformemente com a haste de socamento, conforme mostrado na Figura 7 (ABNT NBR NM 67:1998).

Figura 6 - Preenchimento do molde.



Fonte: O autor (2018).

Figura 7 - Adensamento com haste de socamento.



Fonte: O autor (2018).

Ainda seguindo os passos descritos na ABNT NBR NM 67:1998, deve-se então limpar a placa de base e retirar o molde cuidadosamente na direção vertical, como segue a Figura 8 (a) e (b).

Figura 8 - Retirada cuidadosa do molde do Traço 1 (a) e do Traço 2 (b).



Fonte: O autor (2018).

Então, como descrito na ABNT NBR NM 67:1998, o abatimento do tronco de cone é a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova (Figura 9 (a) e (b)).

Figura 9 - Abatimento do tronco de cone do Traço 1 (a) e do Traço 2 (b).



Fonte: O autor (2018).

Com base no valor obtido no ensaio de abatimento, a ABNT NBR 5738:2015 especifica as seguintes condições para a forma de adensamento:

- Os concretos com abatimento compreendido entre 10 mm e 30 mm devem ser adensados por vibração;
- Os concretos com abatimento compreendido entre 30 mm e 150 mm podem ser adensados com haste (adensamento manual) ou por vibração;
- Os concretos com abatimento superior a 150 mm devem ser adensados com haste (adensamento manual).

Os valores obtidos neste ensaio foram de 170 mm para o abatimento do Traço 1 e 210 mm para o abatimento do Traço 2. O adensamento então foi manual, utilizando a haste.

Ainda, respeitando a ABNT NBR 5738:2015, ao se concluir o ensaio de abatimento, o concreto confeccionado foi colocado dentro do molde em número de camadas que corresponda ao que determina a Tabela 3, utilizando uma concha com seção U (Figura 10).



Tabela 3 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-

Fonte: ABNT NBR 5738:2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova.

Figura 10 - Adição do concreto no molde utilizando concha com seção U.



Fonte: O autor (2018).

Ao introduzir o concreto, deslocou-se a concha ao redor da borda do molde, de forma a garantir uma distribuição simétrica e, imediatamente, com a haste em movimento circular, nivelou-se o concreto antes de iniciar seu adensamento, conforme Figura 11 (ABNT NBR 5738:2015).

Figura 11 - Nivelando o concreto com a haste antes do adensamento.



Fonte: O autor (2018).

A primeira camada foi adensada com uma haste metálica (Figura 12), que atravessou por toda a sua espessura, evitando-se golpear a base do molde. Os golpes foram distribuídos uniformemente em toda a sua seção transversal. Cada uma das camadas seguintes foram adensadas em toda sua espessura, fazendo com que a haste penetrasse aproximadamente 20 mm na camada anterior, conforme esclarecido na ABNT NBR 5738:2015.

Figura 12 - Adensamento da primeira camada.



Fonte: O autor (2018).

Para não haver vazios na massa de concreto, bateu-se um martelo com a cabeça emborrachada levemente na face externa do molde, até estes vazios se fecharem, como descrito na ABNT NBR 5738:2015.

Também, como é respaldado na ABNT NBR 5738:2015, a última camada foi moldada com quantidade em excesso de concreto (Figura 13), de forma que, ao ser adensada, completasse todo o volume do molde e fosse possível proceder o seu rasamento com a borda do mesmo, eliminando o material em excesso, conforme Figura 14.

Figura 13 - Adensamento da última camada com excesso de concreto.



Fonte: O autor (2018).

Figura 14 - Rasamento com a borda do molde.



Fonte: O autor (2018).

Respeitando a ABNT NBR 5738:2015, após a conclusão da moldagem, os copos de prova foram levados imediatamente e com todos os devidos cuidados, para o local onde permaneceram durante a cura inicial (24 horas) e colocados sobre superfície horizontal rígida e sem quaisquer perturbações, protegido de intempéries, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Local de cura inicial.



Fonte: O autor (2018).

Após esse período, os corpos de prova foram desmoldados (como mostrado na Figura 16) e mantidos em solução saturada de hidróxido de cálcio até o momento da realização do ensaio (Figura 17), aos 28 dias (ABNT NBR 5738:2015).

Figura 16 - Desmoldagem dos corpos de prova após a cura inicial.



Fonte: O autor (2018).

Figura 17 - Corpos de prova em solução saturada de hidróxido de cálcio.



Fonte: O autor (2018).

### 3.4 Ensaio de compressão axial de corpos de prova cilíndricos

Para o ensaio de compressão axial, os corpos de prova estavam limpos e secos e foram colocados no centro do prato da prensa na posição em que foram ensaiados, de modo que o eixo coincidisse com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passasse pelo centro (ABNT NBR 5739:2018).

Algumas medidas foram adotadas na prensa para garantir a qualidade do ensaio, tal como calibragem da prensa, na qual o carregamento foi aplicado continuamente e sem choques e só foi considerado o fim do carregamento quando houve uma queda de força indicando a ruptura do concreto. Após o ensaio de compressão, foi calculada a resistência a compressão através da Equação 1, em obediência a ABNT NBR 5739:2018.

### 3.5 Ensaio de compressão diametral de corpos de prova cilíndricos

Como não foi feito ensaio de compressão diametral, a ABNT NBR 6118:2014 esclarece que a resistência à tração ( $f_{ct}$ ) pode ser considerada, na falta de ensaios para obtenção da tração indireta ( $f_{ct,sp}$ ), o seu valor médio ou característico por meio de equações. Portanto, devido à falta de recursos para a realização deste ensaio, foram utilizadas as Equações 4 e 2, respectivamente, para a determinação destes resultados.



### 3.6 Simulações computacionais

Após serem feitos os devidos ensaios e obtidos os resultados esperados, as características dos materiais e condições empregadas no ensaio experimental foram reproduzidas similarmente no *software* comercial ANSYS®, no qual foram inseridas as seguintes informações:

- Dados de entrada: Propriedades iniciais para o concreto (Figura 18);
- Densidade;
- Resistência a compressão: Obtida nos ensaios;
- Força: Obtida nos ensaios;
- Módulo de elasticidade calculado a partir dos dados do ensaio, utilizando a Equação 6:

$$E_s = \alpha E \cdot 5600 \cdot f_{ck}^{1/2} \quad (6)$$

Sendo que:

$E_s$  – módulo de elasticidade (em Megapascals);

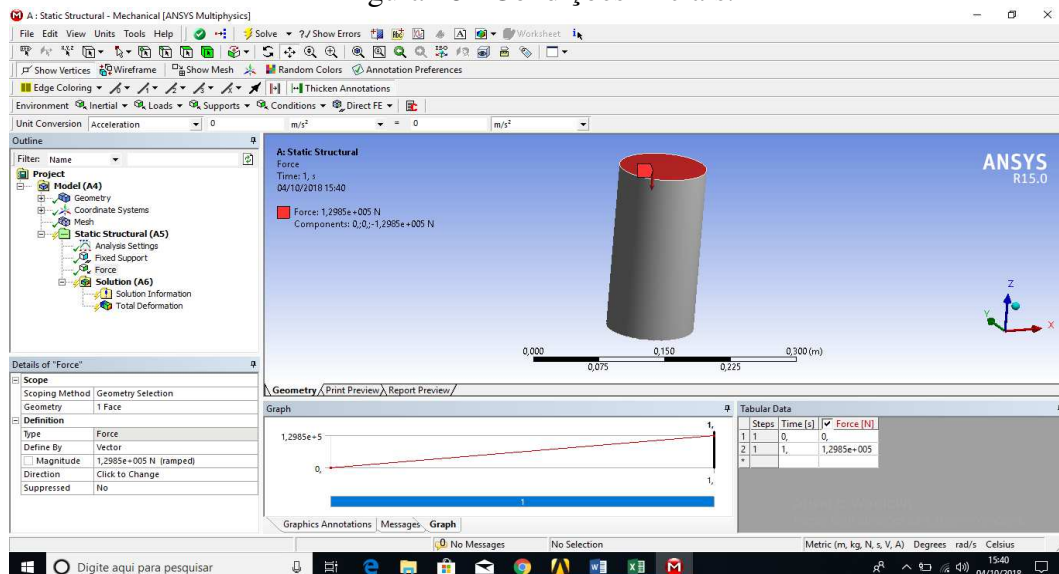
$\alpha E$  – valor otimizado retirado da literatura de 0,85;

$f_{ck}$  – resistência característica à compressão do concreto (em Megapascals).

- Confecção de malha de elementos finitos para que fossem gerados os resultados (Figura 19).

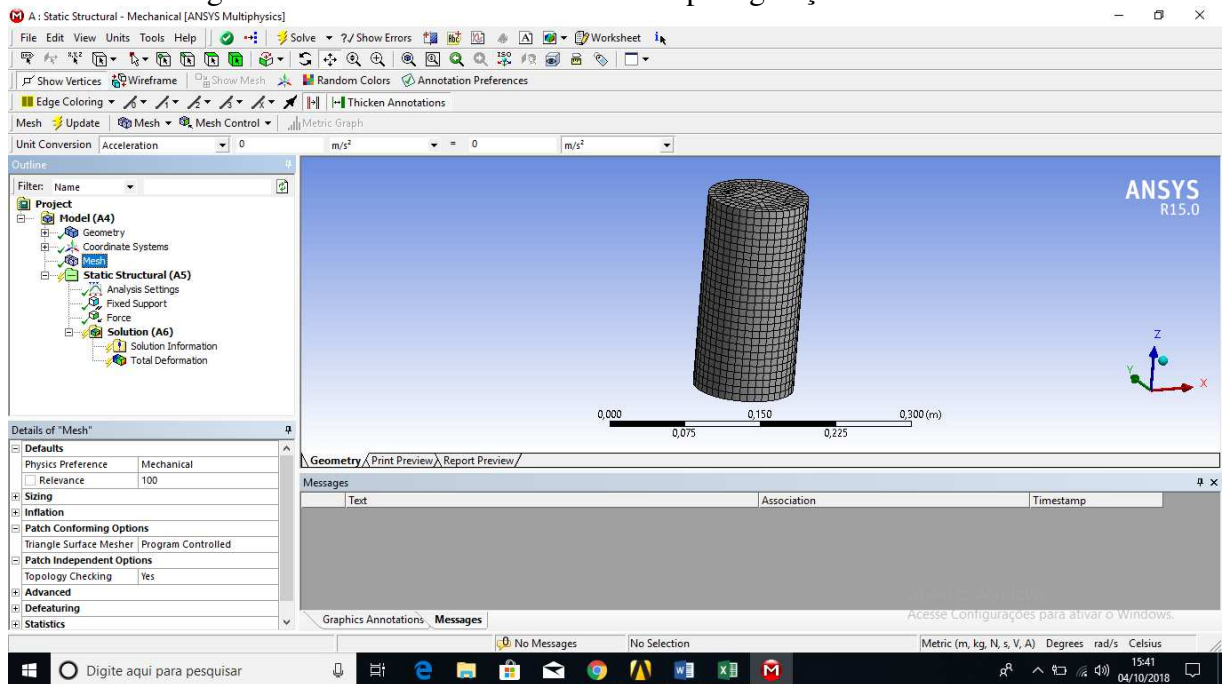
Foram feitas duas simulações, uma para cada corpo de prova: Tensão e Deformação.

Figura 18 - Condições iniciais.



Fonte: O autor (2018).

Figura 19 - Malha de elementos finitos para geração dos resultados.



Fonte: O autor (2018).

### 3.7 Comparação de resultados: Ensaios experimentais x Simulações computacionais

Após serem feitos os devidos ensaios e obtidos os resultados esperados, os comportamentos dos corpos de prova da simulação computacional foram comparados àqueles observados experimentalmente, para que fosse feita uma avaliação da aproximação dos resultados e, com isso, validada a confecção do corpo de prova de concreto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração dos corpos de prova moldados com dois diferentes traços. Também serão mostrados os resultados simulados e a comparação entre eles.

### 4.1 Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

Foi calculada a resistência à compressão utilizando a Equação 1. Os resultados são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão

CPs	Traço 1		Resistência a compressão (MPa)	Traço 2		Resistência a compressão (MPa)
	Força (Ton)	Força (N)		Força (Ton)	Força (N)	
CP 1	14	137200	17,468	31	303800	37,918
CP 2	13	127400	15,901	33	323400	40,365
CP 3	12	117600	14,973	27	264600	32,381
CP 4	14	137200	17,468	19	186200	27,707
<b>MÉDIA (<math>f_{cm}</math>)</b>	<b>13,25</b>	<b>129850</b>	<b>16,453</b>	<b>27,5</b>	<b>269500</b>	<b>34,593</b>

Fonte: O autor (2018).

Nos ensaios do Traço 1, com o concreto de Classe C20, a pasta cimentícia do concreto é menos resistente que os agregados graúdos ao sofrerem as solicitações de esforços. Pode-se dizer que devido à isso, ao começar a fissuração, as fissuras vão se desviar dos agregados, tendendo a criar rachaduras em partes ou em toda extensão da pasta cimentícia. Isso fica claro ao se analisar as Figuras 20, 21, 22 e 23.

Em relação à resistência à compressão, nenhum dos corpos de prova obtiveram o resultado esperado, mas todos tiveram resultados próximos e considerados satisfatórios para o trabalho, pelo fato do interesse não ser nos resultados em sí, mas sim no comportamento dos CPs.

Figura 20 - CP1 do Traço 1 após ensaio de compressão.



Fonte: O autor (2018).

Figura 21 - CP2 do Traço 1 após ensaio de compressão.



Fonte: O autor (2018).

Figura 22 - CP3 do Traço 1 após ensaio de compressão.



Fonte: O autor (2018).



Figura 23 - CP4 do Traço 1 após ensaio de compressão.



Fonte: O autor (2018).

Nos ensaios do Traço 2, com o concreto de Classe C40, notou-se uma grande diferença nos ensaios em relação ao traço anterior. Esses corpos de prova possuem o concreto com a pasta cimentícia mais resistente aos esforços solicitantes, e pode-se dizer que a pasta possui resistência à compressão semelhante ou até maior que os agregados graúdos incorporados. Por esse fato, não há desvio da fissuração e por isso aconteceu uma ruptura abrupta, sem haver desvio de fissura nos agregados. Isso é mostrado nas Figuras 24, 25, 26 e 27.

Em relação à resistência à compressão, apenas um corpo de prova obteve a resistência esperada, dois tiveram os resultados próximos do esperado e apenas um foi bastante abaixo do proposto. Este ensaio também foi considerado satisfatório devido ao comportamento dos CPs.

Figura 24 - CP1 do Traço 2 após ensaio de compressão.



Fonte: O autor (2018).

Figura 25 - CP2 do Traço 2 após ensaio de compressão.



Fonte: O autor (2018).

Figura 26 - CP3 do Traço 2 após ensaio de compressão.



Fonte: O autor (2018).

Figura 27 - CP4 do Traço 2 após ensaio de compressão.



Fonte: O autor (2018).

## 4.2 Resultados dos ensaios de resistência à compressão diametral

Após serem encontrados os resultados dos ensaios à compressão axial, foram feitos então os cálculos para obtenção dos resultados de compressão diametral utilizando as Equações 4 e 2 respectivamente, como foi esclarecido no item 3.5. Os resultados são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados da resistência a tração.

CPs	Resistência à tração (MPa)	
	Traço 1	Traço 2
CP1	1,413	2,370
CP2	1,327	2,471
CP3	1,275	2,133
CP4	1,413	1,922
<b>MÉDIA (<math>f_{ctm}</math>)</b>	<b>1,357</b>	<b>2,224</b>

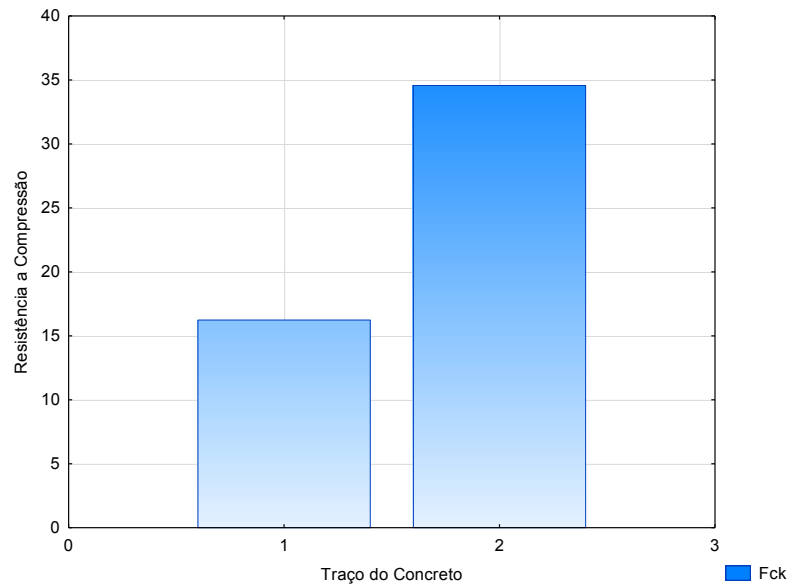
Fonte: O autor (2018).

Os resultados da resistência à tração são bem abaixo dos resultados da resistência à compressão, com isso entende-se que o concreto tem alta resistência ao ser comprimido e baixa resistência ao ser tracionado.

## 4.3 Análise gráfica

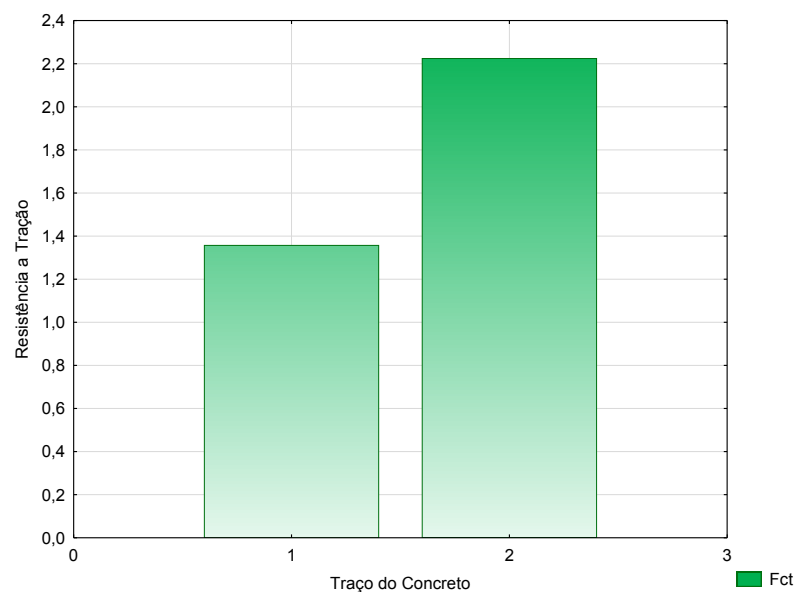
Para a obtenção dos gráficos foi utilizado o programa STATISTICA® e os valores médios calculados da resistência dos traços dos respectivos ensaios. Como pode ser observado nos gráficos mostrados nas Figuras 28 e 29, os valores de resistência à compressão e à tração são maiores para o traço 2, em virtude das características da sua composição, já descrita anteriormente.

Figura 28 - Resistência à compressão em função da média calculada do Traço 1 e do Traço 2.



Fonte: O autor (2018).

Figura 29 - Resistência à tração em função da média calculada do Traço 1 e do Traço 2.



Fonte: O autor (2018).

#### 4.4 Resultados da simulação computacional - ANSYS®

Para a simulação computacional, a geometria foi definida com as mesmas dimensões e formas dos corpos de prova utilizados nos testes experimentais. As condições de entrada consistiram nas propriedades do concreto como densidade, retiradas da literatura ( $2500 \text{ kg/m}^3$ ) e os valores de resistência à compressão obtidos nos ensaios (16,453 MPa para o Traço 1 e 34,593 MPa para o Traço 2). O coeficiente de Poisson do concreto também foi retirado da

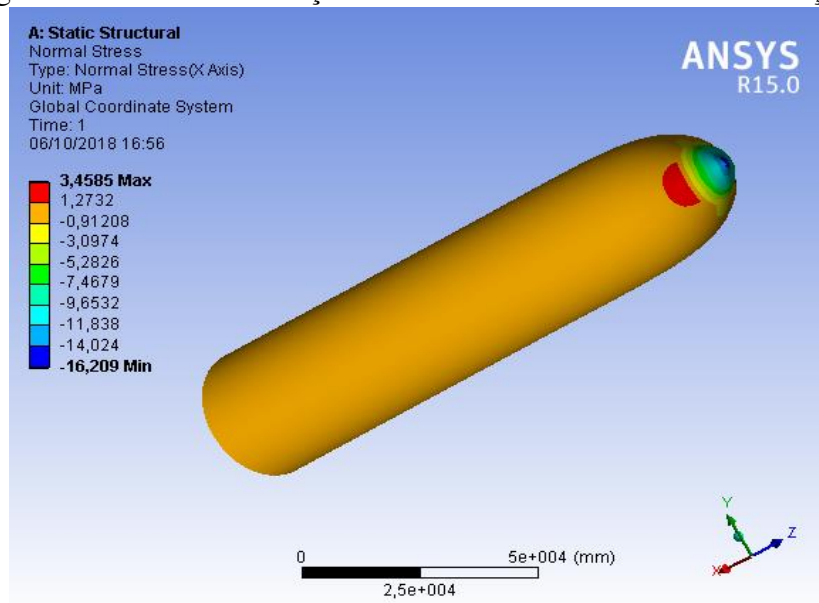


literatura (0,2). Já os módulos de elasticidade foram determinados a partir dos valores de resistência obtendo-se 19307,654 MPa para o Traço 1 e 27996,327 MPa para o Traço 2. A força média, também obtida nos ensaios (129850 N para o Traço 1 e 269500 N para o Traço 2), foi inserida como carga distribuída na extremidade superior do corpo de prova da simulação, já a extremidade inferior foi colocada como apoio fixo, de forma idêntica ao que ocorre nos testes experimentais.

A partir dessas condições foi feito então o refinamento da malha. Uma malha pouco refinada, pode causar erro na simulação ao ser solicitado os resultados, pelo fato de assim, os resultados serem muito grosseiros. Já uma malha muito refinada, pode proceder em gasto de tempo e maior demora no processamento do programa, também não alterando os resultados a partir de um certo ponto do refinamento. Então, para ganhos computacionais, deve-se optar por um refinamento ótimo, ou seja, o refinamento mínimo após o resultado começar a permanecer o mesmo. Logo, com um refinamento de malha adequado, os resultados foram obtidos e são mostrados nas Figuras 30, 31, 32 e 33.

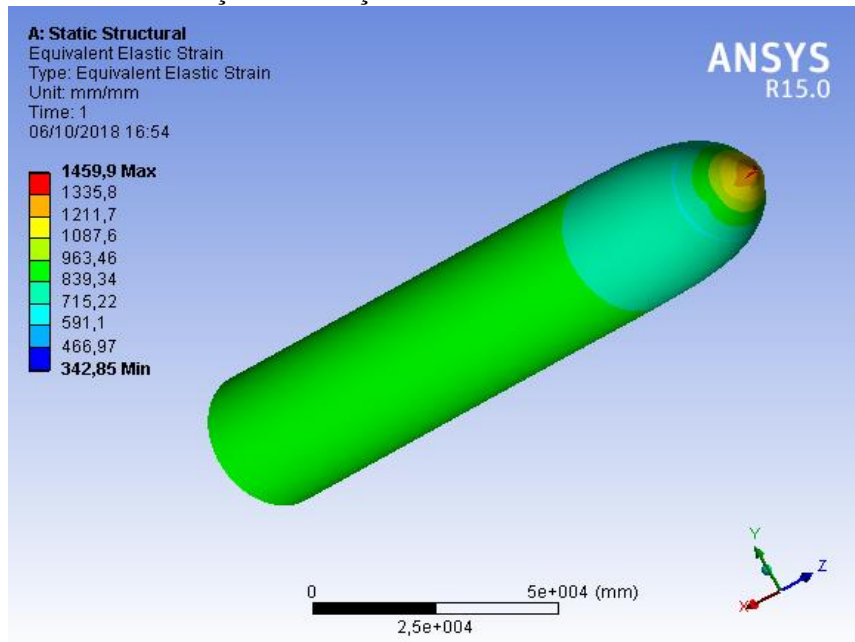
As Figuras 30 e 31 mostram, respectivamente, a distribuição de tensão e a deformação unitária nos corpos de prova de Traço 1. Como pode ser verificado, os maiores valores de tensão e deformação são distribuídos na região externa do corpo de prova e na porção onde há aplicação de carga, correspondente aos pontos onde se verifica a ruptura nos corpos ensaiados experimentalmente. Isso mostra que os modelos propostos na simulação se aproximam dos resultados obtidos experimentalmente.

Figura 30 - Tensão em função da média calculada dos CPs do Traço 1.



Fonte: O autor (2018).

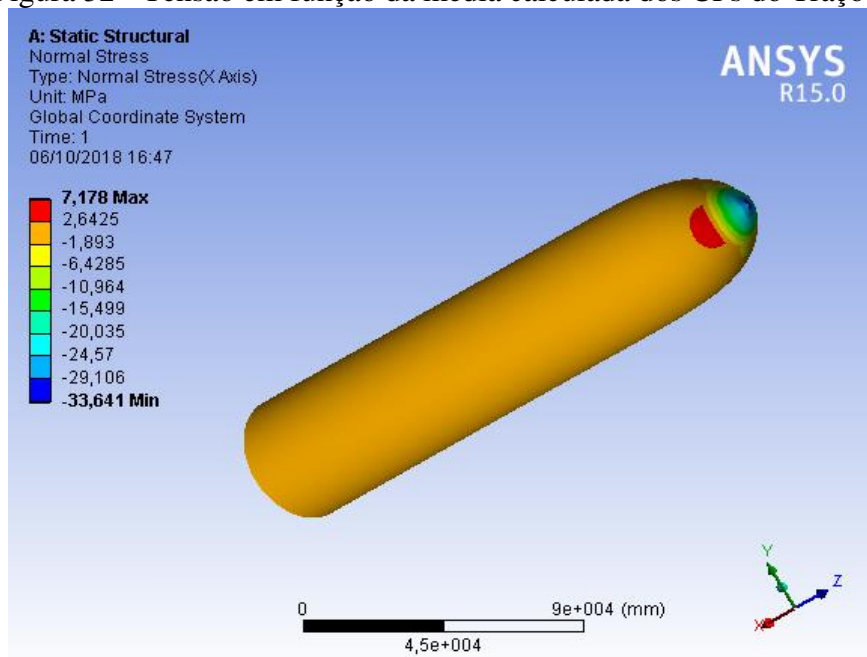
Figura 31 - Deformação em função da média calculada dos CPs do Traço 1.



Fonte: O autor (2018).

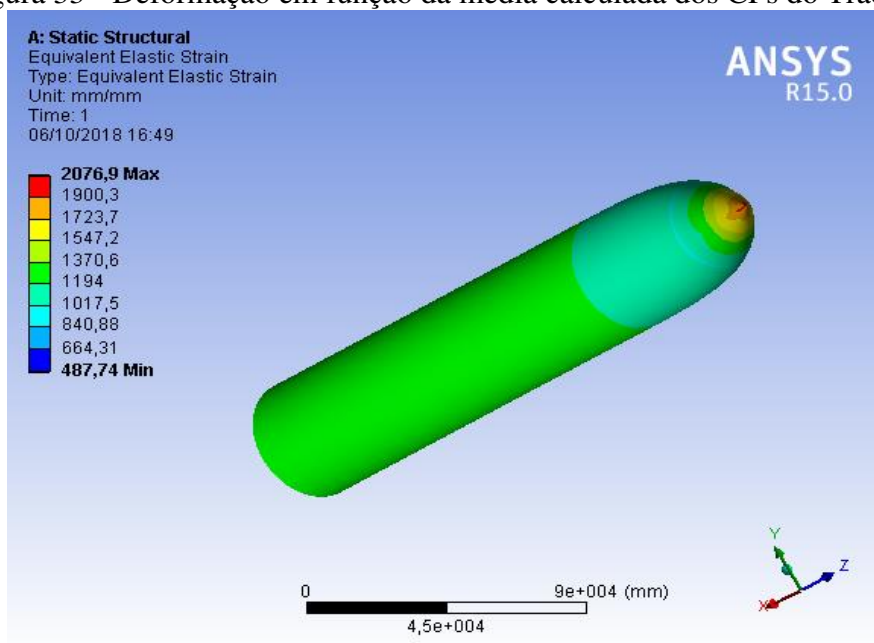
As Figuras 32 e 33, revelam os resultados de simulação computacional para os corpos de prova de Traço 2, mostrando, respectivamente, as regiões de concentração de tensões e de deformações unitárias. As imagens permitem verificar que o comportamento desses corpos de prova são semelhantes ao observado nos corpos de prova de Traço 1, resguardadas as devidas mudanças com relação às intensidades de tensão e deformação.

Figura 32 - Tensão em função da média calculada dos CPs do Traço 2.



Fonte: O autor (2018).

Figura 33 - Deformação em função da média calculada dos CPs do Traço 2.



Fonte: O autor (2018).

## 4.5 Comparação dos resultados

### 4.5.1 Comparação dos corpos de prova com a simulação computacional do traço 1

Conforme a Figura 30, o mapa de esforços mostra os locais onde ocorreram as maiores tensões no corpo de prova. O valor mais elevado de tensões surge na superfície do cilindro. Após essa análise, e observando a Figura 31, nota-se que as maiores deformações ocorrem também na extremidade do corpo de prova, ficando claro que essa região periférica é o local onde ocorre o maior rompimento. Confirmando o que aconteceu nos ensaios experimentais mostrados nas Figuras 20, 21, 22 e 23, onde observou-se fissuras, desgastes e despedaçamentos nos corpos de prova de concreto.

### 4.5.2 Comparação dos corpos de prova com a simulação computacional do traço 2

O mesmo aconteceu na simulação do Traço 2 (Figuras 32 e 33), em que também fica evidente os locais de maiores tensões e deformações, onde ocorrem os desgastes, fissuras, despedaçamentos e locais onde ocorreram o maior rompimento nos corpos de prova ensaiados experimentalmente, como visto nas Figuras 24, 25, 26 e 27 diferenciando apenas a intensidade de força necessária para esse acontecimento.

## 5 CONCLUSÃO

Diante do que foi apresentado nesse trabalho, é possível concluir que a metodologia proposta para a realização dos testes experimentais é adequada para o estudo da resistência à compressão e à tração dos corpos de prova de concreto, uma vez que permitiram a introdução dos valores encontrados como condições de contorno para a modelagem computacional, de onde se obtiveram resultados compatíveis com o comportamento observado nos experimentos.

Mais especificamente sobre a simulação computacional, conclui-se que esta ferramenta é de fundamental importância para análises em engenharia, visto que permite a previsão, a confirmação ou a determinação de parâmetros como propriedades de materiais, sem o custo necessário à realização de experimentos; podendo ser usada para validações de corpos de prova e utilização de concretos em obras civis.

Sendo assim, o trabalho proposto cumpriu seu objetivo em avaliar o comportamento mecânico de corpos de prova de concreto, no que diz respeito a resistência à compressão e à tração, uma vez que trouxe resultados que permitiram a avaliação de tensões e deformações em corpos de prova tanto por via experimental, através da qual se observa fissuras e o desgaste real desses elementos, quanto por simulação computacional, de onde se extrai informações mais amplas que não são visíveis por meio de experimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Luiz C. **Concreto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002, p. 03. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 25 abr 2018.

**Análise de estruturas via Ansys**. Disponível em: <[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5111/5111\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5111/5111_3.PDF)>. Acesso em 09 jun 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

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

CARVALHO, Roberto C.; DE FIGUEIREDO FILHO, Jasson R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4. Ed. São Carlos: Edufscar, 2016. 415p.

DIAS, Jéssica. **Por que é importante que engenheiro de produção aprenda simulação?**. Disponível em: <<https://bde.li/1qcea96>>. Acesso em: 18 abr 2018.

EHRlich, Pierre J. **Pesquisa operacional: curso introdutório**. São Paulo: Atlas, 1985.

FERNANDES, Flávio T. **O uso do concreto armado e protendido – processos e aplicabilidade**. 2014. 23 f. Monografia (Engenharia Civil). Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2014.

GAVIRA, Muriel O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. 150 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MAZEPA, Romualdo C.; RODRIGUES, Tissiane De C. **Estudo comparativo entre corpos de prova cilíndrico e cúbico para o ensaio de resistência a compressão axial**. 2011. 51 f. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, 2011.

PEGDEN, Claude D.; SHANNON, Robert E.; SADOWSKI, Randall P. **Introduction to simulation using SIMAN**. 2. Ed. New York-USA: McGraw-Hill College, 1990. 640p.

PEREIRA, Marina M. **Avaliação da eficiência do ensaio Barcelona simplificado para a determinação da tenacidade do concreto reforçado com fibras**. 2017. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2017.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos-SP: Universidade de São Paulo, 2007.