

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**IANNE SOUSA MARTINS**

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO  
MIÚDO (AREIA) POR VIDRO MOÍDO NO CONCRETO  
CONVENCIONAL**

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

**IANNE SOUSA MARTINS**

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO  
MIÚDO POR VIDRO MOÍDO NO CONCRETO  
CONVENCIONAL**

**ORIENTADORA: ISA LORENA SILVA BARBOSA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
à UniEVANGÉLICA Centro Universitário  
para a obtenção do bacharelado em  
Engenharia Civil.

**ANÁPOLIS / GO**

**2018**

# FICHA CATALOGRÁFICA

MARTINS, IANNE SOUSA

Análise da substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído no concreto convencional.

67P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Agregados

2. Areia

3. Concreto

4. Vidro moído

I. ENC/UNI

II. Bacharel (10º)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARTINS, Ianne Sousa. Análise da substituição parcial do agregado miúdo (areia) por vidro moído no concreto convencional. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 67p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

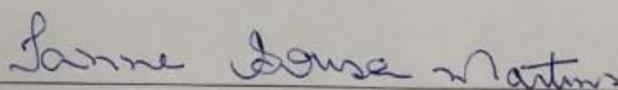
NOME DO AUTOR: Ianne Sousa Martins

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da substituição parcial do agregado miúdo (areia) por vidro moído no concreto convencional.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Ianne Sousa Martins

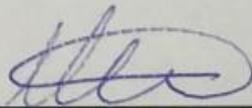
E-mail: iannesousa14@hotmail.com

**IANNE SOUSA MARTINS**

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO  
MIÚDO (AREIA) POR VIDRO MOÍDO NO CONCRETO  
CONVENCIONAL**

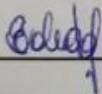
Trabalho de conclusão de curso submetido ao curso de engenharia civil da Unievangélica como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel.

**APROVADO POR:**



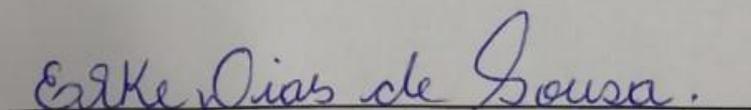
\_\_\_\_\_  
**ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestra (UniEvangélica)**

**(ORIENTADORA)**



\_\_\_\_\_  
**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (UniEvangélica)**

**(EXAMINADOR INTERNO)**



\_\_\_\_\_  
**ELKE DIAS DE SOUSA, Mestra (UniEvangélica)**

**(EXAMINADOR INTERNO)**

## AGRADECIMENTOS

“...Até aqui nos ajudou o Senhor” (I Samuel 7:12)

Gratidão é a palavra que define o fim de mais uma etapa da minha vida. Agradeço primeiramente a Deus, por estar ao meu lado nesse percurso. Aos meus pais Patrícia e Waltemir, agradeço pela vida e por estarem sempre ao meu lado. Em especial, agradeço minha avó Elizabeth que me tem como filha, por todo amor, dedicação, ensinamento por me mostrar todos os dias como posso ser forte. As minhas tias Isabella e Ilanna que sempre me incentivaram, me acompanharam e são minhas inspirações diárias. Ao meu tio Ademar, que será eterno em meu coração, o qual sempre acreditou em mim, me deixando boas lembranças e grandes lições. Ao meu namorado, que esteve em minha caminhada, segurando minha mão e me incentivando. Essas pessoas em especiais marcaram minha trajetória durante a vida e eu amo incondicionalmente cada uma. Deixo também o meu muito obrigada aos meus amigos e familiares que participaram diretamente e indiretamente dos meus dias, todos vocês me ajudam a ser cada vez melhor.

Agradeço também minha orientadora, Isa Lorena, quem teve tão paciência comigo e me ajudou a concluir esta etapa da minha vida... Muito obrigada!!!

## RESUMO

A construção civil é um importante fator econômico, responsável pelo desenvolvimento econômico da sociedade, e em contrapartida causadora de desgastes ambientais significativos, visto que, além da extração exorbitante de recursos naturais ainda gera inúmeros resíduos que na sua maioria são descartados de forma inapropriada. A implantação da sustentabilidade vem sendo realizada de modo que os resíduos gerados pela sociedade possam ser reutilizados de forma benéfica na própria construção, diminuindo a extração de matéria prima e o grande descarte de materiais com potencial de utilização, reduzindo os impactos ambientais. Este trabalho analisa a possibilidade de substituir parcialmente o agregado miúdo, areia, por vidro moído no concreto convencional. O material quando não reciclado é descartado na natureza como lixo comum, algo que é prejudicial ao meio ambiente. Foi realizado o estudo de caso da substituição da areia pelo vidro moído, onde os resultados terão como finalidade confirmar sua utilização como agregado miúdo e a base comparativa para com o material de uso tradicional, levando em consideração testes de resistência. No presente estudo todos os ensaios laboratoriais presentes nas normativas para caracterização dos materiais foram realizados. Após a análise de 28 dias foi possível analisar que não é possível utilizar o vidro como agregado do concreto convencional, devido ao mesmo não ter resistência similar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agregados. Areia. Concreto. Desgastes ambientais. Sustentabilidade. Vidro moído.

## **ABSTRACT**

Civil construction is an important economic factor, responsible for the economic development of society, and in return for significant environmental wastage, since, in addition to the exorbitant extraction of natural resources, it still generates innumerable wastes that are mostly disposed of inappropriately. The implementation of sustainability has been carried out in a way that the waste generated by society can be reused in a beneficial way in the construction itself, reducing the extraction of raw material and the large disposal of materials with potential of use, reducing environmental impacts. This paper analyzes the possibility of partially replacing the sand aggregate with ground glass in conventional concrete. The material when not recycled is discarded in the nature as ordinary trash, something that is harmful to the environment. It was carried out the case study of sand substitution by ground glass, where the results will confirm its use as a small aggregate and the comparative basis for the material of traditional use, taking into account resistance tests. In the present study, all the laboratory tests present in the standards for material characterization were performed. After the analysis of 28 days it was possible to analyze that it is not possible to use glass as an aggregate of conventional concrete, because it does not have similar resistance.

**KEY WORDS:** Aggregates. Sand. Concrete. Environmental wastes. Sustainability. Glass ground.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquematização do processo de fabricação do cimento Portland.....	21
Figura 2 - Relação A/C de Abrams .....	29
Figura 3 – Passo a passo do <i>slump test</i> .....	32
Figura 4 - Componentes do vidro .....	36
Figura 5 - Organograma do método experimental.....	41
Figura 6- Curva granulométrica do agregado miúdo (areia), conforme NBR NM 48 (ABNT, 2003).....	43
Figura 7 - Curva granulométrica dos agregados graúdos (Brita 0 e 1), conforme NBR NM 48 (ABNT, 2003).....	44
Figura 8 – Esquematização da obtenção do vidro moído .....	45
Figura 9 - Vidro moído peneirado .....	46
Figura 10- Curva granulométrica do vidro moído.....	47
Figura 11 - Sobreposição das curvas granulométricas da areia e vidro moído .....	47
Figura 12 - Traços executados.....	49
Figura 13 - Corpos de prova moldados .....	50

## **LISTA DE QUADRO**

Quadro 1 - Utilizações principais de agregados .....	28
--	----

## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Resultados de compressão axial aos 3 dias .....	52
Gráfico 2 - Resistência à compressão axial aos 7 dias .....	52
Gráfico 3 - Resistência à compressão aos 28 dias .....	53
Gráfico 4 - Média da resistência à compressão ao decorrer da idade.....	54

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Tipos de cimento Portland em função das adições.....	19
Tabela 2 - Resultados de resistência à compressão dos cimentos brasileiros .....	20
Tabela 3 - Limites granulométricos do agregado miúdo (areia) .....	24
Tabela 4 - Classificação das britas, relacionada a dimensões. ....	25
Tabela 5 - Limites granulométricos do agregado graúdo .....	27
Tabela 6 – Fatores inclusos no estudo .....	39
Tabela 7- Características do agregado miúdo (areia) .....	42
Tabela 8 - Granulometria do agregado miúdo (areia), descrita na NBR 7217 (ABNT, 1987)	42
Tabela 9 - Características do agregado graúdo (brita 0 e 1) .....	43
Tabela 10 - Granulometria do agregado graúdo (Brita 0), descrita na NBR 7217 (ABNT, 1987).....	44
Tabela 11 - Granulometria do agregado graúdo (Brita 1), descrita na NBR 7217 (ABNT, 1987).....	44
Tabela 12- Granulometria do vidro .....	46
Tabela 13 - Nomenclatura dos tipos de traços e quantidade de massa de cada material (kg)..	48
Tabela 14 - Classes de consistência de acordo com a NBR .....	51
Tabela 15 - Resultados do <i>Slump Test</i> .....	51
Tabela 16 - Compressão axial dos traços .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c – Relação água e cimento

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – *American Concrete Institute*

ASTM – Sociedade Americana de Testes e Materiais

cm – Centímetro

CP – Cimento Portland

CT/UniEvangélica – Centro Tecnológico da UniEvangélica

EPI – Equipamento de proteção individual

FIHP – Iberoamericana de Hormigón Premesclado

g – Grama

IFG – Instituto Federal de Goiás

INT – Instituto Nacional da Tecnologia

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISO - *International Organization for Standardization* – Organização Internacional de Padronização

Kg – Quilograma

MF – Módulo de finura

mm – Milímetro

NBR – Norma Brasileira

NM – Níveis de normalização

T0 – Traço com 0% de substituição de vidro moído, referência

T10 – Traço com 10% de substituição de vidro moído

T15 – Traço com 15% de substituição de vidro moído

T5 – Traço com 5% de substituição de vidro moído

$\mu\text{m}$  – Micrômetro

## SÚMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	METODOLOGIA	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	17
2.1	MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	17
2.1.1	<b>Cimento Portland</b>	17
2.1.1.1	Adições	17
2.1.1.1.1	<i>Escória de alto-forno</i>	17
2.1.1.1.2	<i>Pozolanas</i>	18
2.1.1.1.3	<i>Materiais carbonáticos</i>	18
2.1.1.2	Tipos de cimento	19
2.1.1.3	Qualidade do cimento	19
2.1.1.4	Características do cimento	20
2.1.1.5	Moagem final e formas de despacho do Cimento Portland	21
2.1.2	<b>Agregados</b>	22
2.1.2.1	Agregado miúdo	22
2.1.2.1.1	<i>Principais características do concreto com relação ao agregado miúdo</i>	22
2.1.2.1.2	<i>Caracterização do agregado miúdo</i>	23
2.1.2.1.3	<i>Massa unitária</i>	23
2.1.2.1.4	<i>Massa específica</i>	23
2.1.2.1.5	<i>Granulometria do agregado miúdo</i>	24
2.1.2.1.6	<i>Módulo de finura</i>	24
2.1.2.2	Agregado graúdo	25
2.1.2.2.1	<i>Caracterização do agregado graúdo</i>	25
2.1.2.2.2	<i>Massa unitária</i>	25
2.1.2.2.3	<i>Massa específica</i>	26
2.1.2.2.4	<i>Granulometria do agregado graúdo</i>	26

2.1.2.3	Utilização dos agregados.....	27
<b>2.1.3</b>	<b>Água.....</b>	<b>28</b>
2.1.3.1	Qualidade da água.....	29
2.1.3.2	Quantidade de água necessária.....	29
2.1.3.3	Cura do concreto.....	30
2.2	O CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	30
<b>2.2.1</b>	<b>Dosagem do concreto.....</b>	<b>31</b>
2.2.1.1	Método ABCP.....	31
<b>2.2.2</b>	<b>Consistência e trabalhabilidade.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Resistência à compressão.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Aceitação da substituição de agregados.....</b>	<b>33</b>
2.3	CORRELAÇÃO DO CONCRETO COM A SUSTENTABILIDADE.....	34
<b>2.3.1</b>	<b>Origens da construção.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Produção atual do concreto e extração das matérias-primas.....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Conscientização quanto à visão ambiental.....</b>	<b>35</b>
2.4	VIDRO.....	35
<b>2.4.1</b>	<b>História do vidro.....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Conceito e composição do vidro.....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Estudos de aproveitamento do vidro.....</b>	<b>37</b>
2.4.3.1	Resultados de estudos na produção de concreto.....	37
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
3.1	MÉTODO EXPERIMENTAL.....	39
<b>3.1.1</b>	<b>Variáveis do método experimental.....</b>	<b>39</b>
3.2	MATERIAIS.....	41
<b>3.2.1</b>	<b>Cimento.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Agregado miúdo.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Agregado graúdo.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Vidro moído.....</b>	<b>45</b>
3.3	PREPARAÇÃO PARA CONFECÇÃO E ENSAIOS.....	48
<b>3.3.1</b>	<b>Ensaio do concreto.....</b>	<b>50</b>
3.3.1.1	Condição concreto fresco – <i>Slump test</i> .....	50
3.3.1.2	Condição do concreto endurecido – Resistência à compressão.....	51
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>

<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE 1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T0 – 3 DIAS.....</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE 2 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T5 – 3 DIAS.....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE 3 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T10 – 3 DIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>APÊNDICE 4 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T15 – 3 DIAS.....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICE 5 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T0 – 7 DIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE 6 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T5 – 7 DIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE 7 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T10 – 7 DIAS.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE 8 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T15 – 7 DIAS.....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE 9 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T0, T5, T10 E T15 – 28 DIAS .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, devido ser um material maleável com grande resistência e atender a diferentes situações, em geral é basicamente um composto originado da mistura de pelo menos um aglomerante, no caso o cimento e, também, água, pedra e areia, além de outros materiais eventuais, os aditivos.

Esse material construtivo é amplamente disseminado, podendo ser encontrado em todas as casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento e até em plataformas de extração petrolífera móveis. É estimado que, anualmente, são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto, onde segundo a Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), dá um consumo de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano (PEDROSO, 2009).

Segundo a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM), o concreto é um material compósito, constitui de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes origens.

O aglomerante é o cimento em presença de água. Já o agregado é qualquer material granular, como areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto-forno e resíduos de construção e de demolição. Se as partículas de agregado são maiores do que 4,75mm, o agregado é dito graúdo, se forem menores o agregado é o miúdo.

Os aditivos e adições são substâncias químicas adicionadas ao concreto em seu estado fresco que lhe alteram algumas propriedades, adequando-as às necessidades construtivas.

A construção civil é um importante fator econômico, responsável pelo desenvolvimento econômico da sociedade, e em contrapartida causadora de desgastes ambientais significativos, visto que, além da extração exorbitante de recursos naturais ainda gera inúmeros resíduos que na sua maioria são descartados de forma inapropriada.

Segundo Neto (2005), o desperdício de materiais em grande escala está diretamente relacionado com a construção civil. As buscas por soluções sustentáveis têm levantado muitos debates, desenvolvimentos tecnológicos e metodologias para tentar amenizar os impactos ambientais resultantes das atividades humanas.

A implantação da sustentabilidade vem sendo realizada de modo que os resíduos gerados pela sociedade possam ser reutilizados de forma benéfica na própria construção, diminuindo a extração de matéria prima e o grande descarte de materiais com potencial de utilização, reduzindo os impactos ambientais.

A possibilidade de incorporação de resíduos em misturas à base de cimento é uma contribuição da construção civil para reciclagem de resíduos prejudiciais ao meio ambiente, podendo também melhorar o desempenho dos materiais com sua adição.

Segundo o CEMPRE (2009), no Brasil é produzido em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos. Esses cacos são provenientes em parte de refugo nas fábricas e em parte na coleta seletiva dos municípios. O principal mercado para recipientes de vidros usados é formado pelas vidrarias, que compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem diretamente de suas campanhas de reciclagem. Além de voltar à produção de embalagens, a sucata pode ser aplicada na composição de asfalto e pavimentação de estradas, construção de sistemas de drenagem contra enchentes, produção de espuma e fibra de vidro, bijuterias e tintas reflexivas.

De acordo com Ferrari e Jorge (2010), em sua forma pura, o vidro é um óxido metálico superesfriado transparente, de elevada dureza, essencialmente inerte e biologicamente inativo, que pode ser fabricado com superfícies muito lisas e impermeáveis. Essas propriedades desejáveis conduzem a um grande número de aplicações, distinguindo-se de outros materiais por várias características, tais como baixa porosidade, absorvidade, dilatação e condutibilidade térmica, suportando pressões de 5.800 a 10.800 kg/cm<sup>2</sup>.

O uso do vidro como agregado já vem sendo utilizado em alguns países, como por exemplo, a Austrália que utiliza vidros descartados como lixo comum em seus concretos (CRENTSIL, 2001).

A sucata de vidro apresenta um baixo índice de reciclagem, fazendo com que aproximadamente 2% do lixo gerado e depositado nos lixões e aterros sanitários do país seja composto por vidros. Estima-se que aproximadamente 70% dos aterros estarão com sua capacidade muito reduzida no próximo milênio, pois o tempo estimado de decomposição do vidro é aproximadamente um milhão de anos (SANTOS, 1998).

Uma alternativa sustentável para reduzir esse volume de vidros depositados em lixões seria utilizá-los na construção civil, incorporados em misturas à base de cimento, tais como na produção de concretos com sucata de vidro moído em substituição à areia.

Será realizado no presente trabalho o estudo de caso da substituição parcial da areia pelo vidro moído, onde os resultados terão como finalidade confirmar ou não sua utilização como agregado miúdo tendo como base comparativa o concreto tradicional, levando em consideração, testes de resistência à compressão.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com o aumento da construção civil, o uso do concreto tem sido utilizado constantemente, visto que é uma matéria de alta resistência e grande durabilidade, sendo capaz de suportar toda estrutura da edificação.

Os resíduos industriais não podem sofrer descarte comum, pois são extremamente nocivos ao meio ambiente. Os materiais só podem ser dispostos em aterros específicos e com o valor elevado. Então nota-se o quanto é viável a produção e o uso do concreto sustentável, pois evita o descarte e elimina o custo para as indústrias.

No Brasil, o vidro moído é usado na composição de asfalto, mas raramente no concreto. A substituição parcial do agregado miúdo (areia) do concreto por vidro moído pode ser uma opção viável, pois o vidro é um material utilizado diariamente e seu descarte incorreto ocorre na grande maioria.

O concreto utilizado no experimento contemplou a substituição de parte do agregado miúdo natural (areia) por vidro moído, nas proporções de 0%, 5%, 10% e 15%. O vidro utilizado nos ensaios foi proveniente do descarte de 6 vidraçarias da cidade de Anápolis GO.

Um material sustentável no século XXI é de ser bem reconhecido e requisitado, pois é de fundamental importância esse tipo visto que os impactos ambientais vêm se agravando e é cada vez mais necessário buscar meio de trazer uma boa sustentabilidade.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar a substituição parcial do agregado miúdo no concreto convencional, por vidro moído.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar a composição e o tipo de vidro a ser utilizado.
- ✓ Dimensionar a dosagem ideal pelo método ABCP para concreto convencional e com substituição parcial de vidro moído.
- ✓ Realizar a verificação do *slump test*, resistência à compressão dos traços dosados.

### 1.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento da primeira parte deste trabalho foi uma revisão bibliográfica sobre o tema, através de pesquisas em sites especializados, artigos e livros da área, e posteriormente a realização da análise laboratorial comparativa dos dois concretos ensaiados em relação às características mecânicas.

A pesquisa é constituída de duas etapas:

Pesquisa bibliográfica: foi realizada pesquisa através de uma série de publicações, livros e artigos.

Fase experimental: consistiu numa caracterização específica e definição do traço do concreto convencional, e os com substituição de pó de vidro, onde serão confeccionados três corpos de prova nas proporções de 5%, 10% e 15%, submetidos à resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias para possibilitar a comparação dos concretos analisados.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em quatro capítulos: introdução, revisão bibliográfica, métodos e materiais e considerações finais.

No segundo capítulo, é abordada a fundamentação teórica com temas como materiais constituintes do concreto, história do concreto e vidro.

Baseado na fundamentação teórica abordada no capítulo anterior, o terceiro capítulo apresenta a metodologia seguida para a obtenção dos resultados – método de pesquisa e experimentos, desde a caracterização dos materiais até a obtenção dos resultados dos ensaios realizados.

No quarto capítulo, são apresentados os dados obtidos através de experimentos e analisados os resultados alcançados, as considerações finais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

Os materiais constituintes do concreto são: cimento, agregado miúdo e graúdo e água.

#### 2.1.1 Cimento Portland

O cimento é um material pulverulento em forma de pó acinzentado, sua constituição é aluminatos de cálcio e silicatos. O cimento possui várias propriedades, e uma característica bem interessante é sua hidratação com água e sua capacidade de se juntar a agregados, gerando assim argamassas e concretos, e não perder assim sua trabalhabilidade. Também deve ser pontuada a capacidade da progressão de resistência mecânica a compressão ao longo de diversas idades.

A fabricação do cimento Portland é decorrente da moagem de clínquer (material granular que se resulta da calcinação de uma combinação de calcário, argila, alumínio, ferro e silício), assim que o produto sai do forno e é esfriado, é moído e a mistura recebe um acréscimo de gesso, sulfato de cálcio (RIBEIRO, PINTO, STARLING, 2011).

##### 2.1.1.1 Adições

###### 2.1.1.1.1 *Escória de alto-forno*

A escória líquida é dada através do tratamento em alto-forno de minério de ferro, tais escórias são resfriadas ou paletizadas e possuem propriedades hidráulicas latentes, ou seja, tais se revelam apenas quando existem reações químicas.

Conforme a NBR 5735 - 1991 as reações só acontecem quando as escórias designadas para produção de cimento forem alcalinas. Devido a essa descoberta houve possibilidade de adicionar escória no processo de moagem do clínquer, proporcionando assim melhores propriedades hidráulicas tanto na resistência, quanto da durabilidade (ISAIA, 2010).

#### 2.1.1.1.2 *Pozolanas*

São materiais silicosos que necessitam de hidratação para produção de compostos do cimento Portland, não possuem sozinha uma propriedade hidráulica ligante. São materiais da origem das rochas vulcânicas ou de fósseis orgânicos encontrados na natureza, como argila queimada ou resíduos do carvão mineral queimado em usinas. Os materiais pozolânicos mais utilizados nas indústrias cimentícias são:

- Pozolana natural: que é encontrada na natureza, como por exemplo, na sedimentação das rochas, ou pelas cinzas de um vulcão.
- Cinza volante: encontrado devido à combustão de carvão mineral em termoelétricas.
- Sílica ativa: encontrada através da redução de quartzo, é um material mais fino que o próprio cimento.
- Argila calcinada – encontrado através da moagem de certas argilas.
- Metacaulim – encontrado através da calcificação.

Diferentemente da escória os materiais pozolânicos precisam passar por pesquisas para que possam desenvolver reações químicas. Foi descoberto que durante a hidratação com água esse material também precisa estar em presença de hidróxido de cálcio. Acontece que o clínquer é o material que libera o hidróxido de cálcio, logo ocorre à reação com a pozolana. Estes são os fatores que a adição de pozolanas é favorável durante a moagem do clínquer com o gesso, além de conceder maior impermeabilidade nos concretos e argamassas (ISAIA, 2010).

#### 2.1.1.1.3 *Materiais carbonáticos*

Os materiais carbonáticos presentes no cimento são conhecidos como filer de calcário, a adição desse material tem como objetivo melhorar a trabalhabilidade dos concretos e argamassas, devido às suas partículas se alojarem nos espaços vazios dos demais componentes do cimento. São materiais inorgânicos encontrados através da moagem de alguns minerais calcários e constituem no cimento uma ação física, substituindo parcialmente o papel do gesso (ISAIA, 2010).

### 2.1.1.2 Tipos de cimento

Como foi visto no tópico acima é notório que de acordo com as adições os cimentos vão se diferenciando suas propriedades, na tabela 1 estão dispostos os tipos de cimento e suas adições (NEVILLE, 2015).

**Tabela 1 - Tipos de cimento Portland em função das adições**

Tipos de cimento Portland	Sigla	Clínquer (%)	Escória (%)	Pozolana (%)	Materiais carbonáticos (%)
CP comum	CP I	100	0	0	0
CP com adição	CP I - S	95 - 99		1 - 5	
CP com escória	CP II - E	56 - 95	6 - 34	-	0 - 10
CP com pozolana	CP II - Z	76 - 94	-	6 - 14	0 - 10
CP com filler	CP II - F	90 - 94	-	-	6 - 10
CP de alto-forno	CP III	25 - 65	35 - 70	-	0 - 5
CP pozolânico	CP IV	50 - 85	-	15 - 50	0 - 5
CP de alta resistência	CP V ARI	95 - 100	0	0	0 - 5

FONTE: RIBEIRO, PINTO, STARLING, 2011.

### 2.1.1.3 Qualidade do cimento

O cimento tem como propriedade importante a resistência à compressão e a trabalhabilidade. Sua resistência depende de vários fatores, como por exemplo, a reação do clínquer, granulometria das partículas, processo de cura, relação entre água e cimento ( $a/c$ ), entre outros, estes influenciam diretamente no desenvolvimento da resistência. Devido a isso é necessário uma rotina de controles de qualidade. O Brasil atualmente vem sendo referência no uso de cimentos compostos.

A participação no mercado brasileiro está expressiva, pois é esclarecido tecnicamente que cimentos compostos proporcionam maior durabilidade e aumento da resistência à compressão, inclusive após a idade de 28 dias (que é considerada como a de controle). A Associação Brasileira de Cimento Portland confirma tal crescimento, na tabela 2 é possível esclarecer as informações com dados técnicos, são resultantes de aproximadamente amostras de 580 cimentos fabricados em unidades brasileiras em diferentes regiões (ISAIA, 2010).

**Tabela 2 - Resultados de resistência à compressão dos cimentos brasileiros**

Tipos de cimento	Resistência à compressão, em MPA, em função da idade					
	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	63 dias	91 dias
CP II-E-32	9,4	22,1	30,5	41,2	44,4	48,9
CP II-F-32	12,7	26,9	32,4	39,7	42,1	44
CP II-E-40	-	28,9	37,3	47,2	51,4	56,6
CP II-Z-32	12,7	24,9	30,5	38,2	40,1	42,6
CP III-32	6,5	16,3	27,2	41,8	48,4	51,4
CP III-40	10,5	21,4	33,4	48,2	51,3	56
CP IV-32	9,6	21,5	28,6	39,9	43,6	46,3
CPV-ARI	24,5	37,4	42,7	48,5	48,8	52,5
CPV-ARI RS	19	33,1	40,2	47,2	49,9	52,4

FONTE: (ISAIA, 2010).

Tais resultados atestam a NBR 6118 (ABNT, 2007) no que se diz a respeito ao crescimento ao passar das idades nos concretos confeccionados com o cimento Portland. Enfim, os cimentos produzidos no Brasil têm propriedades de uso geral, o ideal é estabelecer um critério de seleção para a escolha do tipo do cimento. É necessário levar em consideração fatores relevantes como a resistência à compressão, impermeabilidade e possibilidade de reações químicas com os agregados posteriormente adicionados para produção de concretos e argamassas (ISAIA, 2010).

#### 2.1.1.4 Características do cimento

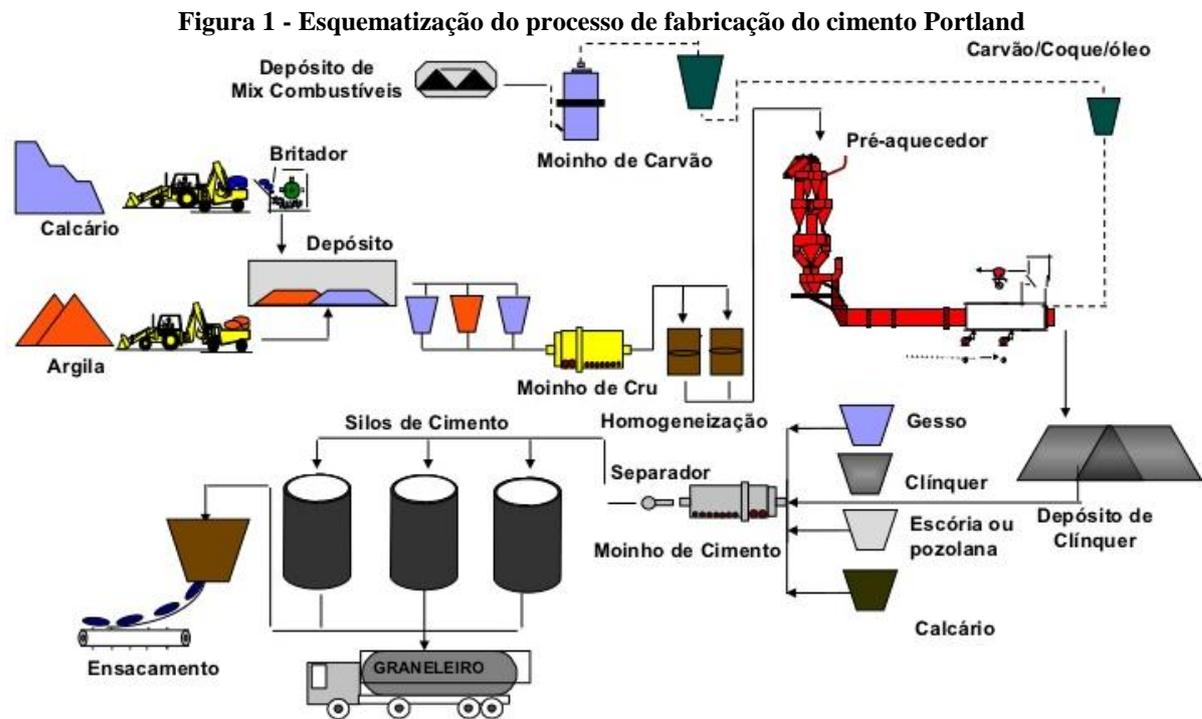
Como visto o processo de fabricação do cimento segue as normas da ABNT, para garantir as propriedades especificadas, e obter melhor proteção das suas características químicas e físicas o ideal é estocar em local adequado, seco e sem umidade. Os atributos que podem influenciar o produto são (RIBEIRO, PINTO, STARLING, 2011):

- Módulo de finura do cimento: esta é determinada ainda na fabricação. Quanto maior a finura do cimento melhor, pois devido a isso é possível obter melhor qualidade na trabalhabilidade e na impermeabilidade, além de obter a menor exsudação.
- Tempo de pega: é o tempo para endurecimento de uma pasta de cimento. O tempo de pega ideal é aquele do prazo intermediário, para atrasar ou acelerar este tempo é possível à utilização de aditivos.

- Expansibilidade: é o que pode acontecer depois do tempo de pega, onde se acarreta fissuras. Isso acontece devido ao teor de cal ou magnésio do clínquer for elevado.
- Resistência à compressão: É a relação entre o corpo de prova e a carga aplicada, o quanto resistirá.

#### 2.1.1.5 Moagem final e formas de despacho do Cimento Portland

O cimento só se resulta em pó acinzentado após a moagem do clínquer, gesso e demais materiais adicionados. O material final então é transportado e estocado, posteriormente ensaiado para garantia da qualidade e então enviado a expedição. Na figura 1 é possível ver todo o processo decorrente de produção do cimento até ser distribuído em sacos, geralmente de 50 kg, ou a granel (ISAIA, 2010).



FONTE: (ISAIA, 2010)

## 2.1.2 Agregados

Agregados são em formas granulares, e sem forma específica, comumente inerte, e bastante apropriada para a construção civil. É um material bem versátil, podendo ser utilizado para lastro, bases e revestimentos de pavimentação, além de ser usado como material inerte para confecção de concretos e argamassas.

É um material de suma importância para o concreto, do ponto de vista econômico até o ponto de vista técnico, a uma atuação favorável até nas características, como, retraimento, aumento da resistência mecânica, sem danificação. É possível dividir os agregados em:

- Naturais: O qual já encontrado na natureza, como por exemplo, areia, pedregulhos e seixos rolados.
- Artificiais: O qual necessita da intervenção humana e/ou industrial para obtenção, como por exemplo, argila expandida e escória.

Outra classificação é quanto ao peso, essa reparte os agregados em leve, normal e pesado. Entretanto, a classificação mais importante para este estudo é a atuação diferenciada de agregados quando utilizado no concreto, que é a classificação quanto à dimensão, e são divididos entre agregados miúdos e agregados graúdos (PETRUCCI, 1979).

### 2.1.2.1 Agregado miúdo

Segundo a NBR 7211 – 2005, define então como agregado miúdo a areia, a qual quando passante pela peneira da ABNT 4,75 mm e retidos em peneira ABNT 150 µm.

A areia é um material de distintas dimensões, e granular podendo ser obtida, por exemplo, em rios, escavações, praias e dunas.

#### 2.1.2.1.1 Principais características do concreto com relação ao agregado miúdo

As mais notáveis características do concreto em relação ao agregado miúdo são as de trabalhabilidade, durabilidade e resistência à compressão. A trabalhabilidade pode ser afetada dependendo do formato dos grãos. Para maior durabilidade o agregado precisa ser inerte, para que não ocorra reações químicas externas. Já resistência à compressão pode ser alterada de

acordo com sua granulometria, isso quando o índice de vazios decorrentes de agregados com teor muito fino for elevado (BAUER, 2012).

#### 2.1.2.1.2 *Caracterização do agregado miúdo*

A realização da caracterização do agregado para todos os ensaios foram conforme as normas NBR NM 26 - 2000 e NBR NM 27 - 2000, de amostragem e redução de amostras.

#### 2.1.2.1.3 *Massa unitária*

O ensaio de massa unitária é realizado pelo método C, de acordo com a NBR NM 45 - 2006. Para a realização do ensaio é necessário os seguintes equipamentos: recipiente cilíndrico, pá, haste reta de aço e balança de precisão.

O primeiro passo para realização do ensaio é registrar a massa do recipiente vazio. Logo após encher o recipiente de areia, com a pá, até transbordar, despejando o material com uma distância de até 50 mm da borda superior. O próximo passo é nivelar a camada superior com a haste e registrar a massa do conjunto. É necessário repetir o procedimento por três vezes. Depois de registrados os resultados, a massa unitária é calculada.

#### 2.1.2.1.4 *Massa específica*

Massa específica é a razão entre agregado e seu volume, desprezando os poros permeáveis. O ensaio da massa específica é realizado de acordo com a NBR NM 52 - 2003. Para a realização do ensaio é necessário os seguintes equipamentos: balança de precisão e frasco aferido.

O primeiro passo é separar 500 g de amostra de agregado, colocar no frasco (picnômetro) e registrar a massa do conjunto. Logo depois, encher de água próximo a marca de 500 ml, fazer movimentos circulares com o frasco até eliminar todas as bolhas de ar e colocar em um banho, por uma hora, com temperatura constante entre 19 e 23°C. Passado uma hora, pesa novamente o conjunto. Depois de registrados os resultados, a massa específica é calculada.

### 2.1.2.1.5 Granulometria do agregado miúdo

A principal característica do agregado miúdo é a granulometria. Logo que a dimensão dos grãos influencia nas propriedades do concreto, será descrito o procedimento do ensaio granulométrico.

O ensaio realizado, conforme NBR 7217 - 1987, para se obter o percentual em peso dos grãos de diferentes tamanhos, submete a amostra a uma série de peneiramento, com diferentes aberturas de malhas, para a obtenção de percentagem retida e retida acumulada, módulo de finura, dimensão máxima e por fim sua classificação.

Segundo a NBR 7217 - 1987 ao determinar a granulometria, tal deve suprir os marcos da tabela 3. As areias podem compartilhar de diferentes granulometria, porém é imprescindível a antecipação de estudos de dosagem.

**Tabela 3 - Limites granulométricos do agregado miúdo (areia)**

Peneiras com abertura em mm (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem em massa retida acumulada nas peneiras para as diferentes zonas			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona zona	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,30 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009).

### 2.1.2.1.6 Módulo de finura

O Módulo de Finura do agregado miúdo (areia) é classificado de acordo com as características nas curvas granulométricas, como:

Areia fina:  $MF > 3,9$

Areia média:  $(3,9 > MF > 2,4)$

Areia grossa:  $MF < 3,9$

É descrito na NBR 7214 - 1982 as condições solicitadas da areia designada à realização do ensaio de resistência à compressão de cimento Portland, conforme a norma NBR 7215 – 1996.

#### 2.1.2.2 Agregado graúdo

Segundo a NBR 7211 - 2005, define então como agregado graúdo as britas, as quais passante pela peneira ABNT 75 mm e retidas em peneira ABNT 4,75 mm.

Tais britas e pedregulhos são decorrentes da diminuição das rochas, podendo ser encontrados soltos na natureza. As formas arredondadas são nomeadas de seixos. São classificadas em cinco tipos de pedras.

É descrito na NBR 7225 - 1993 uma classificação mais sucinta para britas e é apresentada em tabela 4.

**Tabela 4 - Classificação das britas, relacionada a dimensões.**

Número	Aberturas de peneiras (mm)	
	Mínima	Máxima
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

FONTE: NBR 7225, (ABNT 1993).

##### 2.1.2.2.1 *Caracterização do agregado graúdo*

A realização da caracterização do agregado seguiu as normas NBR NM 26 - 2000 e NBR NM 27 - 2000, de amostragem e redução de amostras.

##### 2.1.2.2.2 *Massa unitária*

O ensaio de massa unitária é realizado pelo método C, de acordo com a NBR NM 45 - 2006. Para a realização do ensaio é necessário os seguintes equipamentos: recipiente cilíndrico, pá, haste reta de aço e balança de precisão.

O primeiro passo para realização do ensaio é registrar a massa do recipiente vazio. Logo após encher o recipiente de brita, com a pá, até transbordar, despejando o material com uma distância de até 50 mm da borda superior. O próximo passo é nivelar a camada superior com a haste e registrar a massa do conjunto. É necessário repetir o procedimento três vezes. Após registrados os resultados, a massa unitária é calculada.

#### 2.1.2.2.3 *Massa específica*

O ensaio de massa específica é realizado conforme a NBR NM 53 - 2002. Para a realização do ensaio é necessário os seguintes equipamentos: balança de precisão equipada com dispositivo suspenso a água, recipiente de arame com abertura de malha inferior ou de 3,5 mm, recipiente com água.

O primeiro passo para a realização do ensaio é registrar o peso do recipiente de arame e pesar a amostra do agregado. Colocar o agregado no recipiente de arame, submergir na água. Logo após pesar o conjunto submerso na água. É necessário repetir o procedimento duas vezes. Após registrados os resultados a massa específica é calculada.

#### 2.1.2.2.4 *Granulometria do agregado graúdo*

O ensaio realizado, conforme NBR 7217 - 1987, para se obter o percentual em peso dos grãos de diferentes tamanhos, a amostra é submetida a uma série de peneiramentos, com diferentes aberturas de malhas, para a obtenção de porcentagem retida e retida acumulada, módulo de finura, dimensão máxima e por fim sua classificação.

Segundo a NBR 7211 - 2009, toda a distribuição de granulometria deve suprir os limites constantes indicados na tabela 5.

**Tabela 5 - Limites granulométricos do agregado graúdo**

Peneira com abertura de malha em mm (ABNT NBR ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida e acumulada				
	Zona granulométrica				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75	-	-	-	-	0 - 5
63	-	-	-	-	5 - 30
50	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5	-	-	0 - 5	75 - 100	90 - 100
25	-	0 - 5	5 - 25	87 - 100	
19	-	2 - 15	65 - 95	95 - 100	
12,5	0 - 5	40 - 65	92 - 100	-	
9,5	2 - 15	80 - 100	95 - 100	-	
6,3	40 - 65	92 - 100	-	-	
4,75	80 - 100	95 - 100	-	-	
2,36	95 - 100	-	-	-	

FONTE: NBR 7211 (ABNT, 2009)

### 2.1.2.3 Utilização dos agregados

A utilização de britas e areias estão associadas diretamente com sua granulometria. É usada como agregados de aglomerante do concreto, ou até mesmo emérito como nos gabiões, nos drenos, entre outros. No quadro 1 é possível observar os principais tipos de agregados e onde são utilizados na construção civil.

**Quadro 1 - Utilizações principais de agregados**

<b>Produtos</b>	<b>Usos</b>
Areia artificial e areia natural (4,8 a 0,074 mm)	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, emboço, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pó de pedra (<4,8 mm)	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes intertravados, lajes e acabamento em geral
Brita "0" ou pedrisco (4,8 a 9,5 mm)	Massa asfáltica, concretos.
Brita 1 (4,8 a 12,5 mm)	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes.
Brita 2 (12,5 a 25,0 mm)	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
Brita 3 (25 a 50 mm)	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
Brita 4 (50 a 76 mm)	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou marrotada	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas.
Brita corrida < 25	Massa asfáltica, aterro.

FONTE: (KULAIF, 2001)

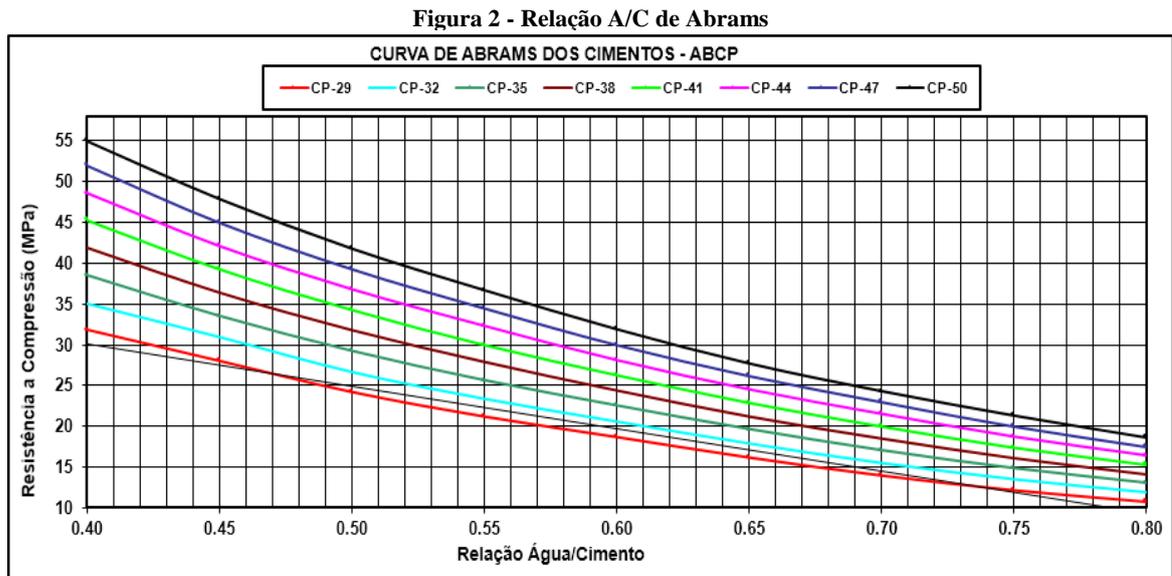
### 2.1.3 Água

A composição da água é resultante da reação de dois reagentes químicos, hidrogênio e oxigênio, e está presente abundantemente na natureza, de sumo valor para os seres vivos como também para concretos e argamassas.

Segundo Aoki (2013), a importância se dá essencialmente, devido provocar a hidratação dos componentes do cimento e conseqüentemente enrijecimento, e aumento da trabalhabilidade. Com isso, a água é responsável pela principal função no concreto.

De acordo com o fabricante Cimento Mauá (2017), a água sempre estará relacionada quando o assunto é concreto, isso foi descoberto por Duff A. Abrams em 1914 a 1918, depois

de numerosos testes e ensaios ele conseguiu denominar uma curva de relação entre água e cimento, que por sinal até nos dias atuais são aplicadas. A influência desta curva variou a resistência, retração e durabilidade, pois sempre que materiais são transformados em pasta, sua estrutura interna pode ser determinada. A figura 2 ilustra a curva de relação entre água e cimento de Abrams.



FONTE: (CLUBE DO CONCRETO, 2016)

### 2.1.3.1 Qualidade da água

Está descrita na NBR 15900 - 2009 o tipo de água adequada ou não para cada tipo de concreto, por exemplo, a água de abastecimento público é adequada para todos os tipos de concreto e não há necessidade de ensaio, já a água salobra só deve ser usada em concretos não armados e há necessidade de ensaio.

Segundo Neville (1997), impurezas existentes na água podem interferir a resistência do concreto, causando manchas na superfície, ou contribuir na corrosão da armadura. Logo é necessário dar atenção à qualidade da água para amassamento e pra cura do concreto. Por regra a água deverá ter pH de 6,0 a 9,0.

### 2.1.3.2 Quantidade de água necessária

Para a adição de água alguns fatores devem ser controlados, como a trabalhabilidade definida, a absorção de cada agregado, se o agregado já está hidratado, entre outros.

Mesmo a água sendo de suma importância para o concreto, deve-se sempre estar correlacionada a dosagem de cimento, pois quanto maior a quantidade de água menor será a resistência obtida, logo a água segue o padrão, nem muita, nem pouca.

A água em excesso causará fissuras no concreto devido o enrijecimento da estrutura, por outro lado a falta de água dificultará o adensamento, afetando assim a qualidade do concreto. Quando há um controle da quantidade, as propriedades físicas e mecânicas não serão abaladas (Cimento Mauá, 2017).

### 2.1.3.3 Cura do concreto

A água novamente está relacionada nesse processo, quando a cura é executada de maneira correta o concreto ganha resistência, melhora a aparência e a durabilidade. Os métodos mais comuns de cura são: mantendo a superfície úmida aplicando água, e manter o concreto coberto com água, ou em câmaras úmidas que molha o concreto de tempo em tempo.

## 2.2 O CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O concreto de cimento Portland é o produto resultante do endurecimento da mistura de cimento Portland, agregado miúdo, graúdo e água, em proporções satisfatórias.

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida (ISAIA, 2010).

O traço do concreto deve ser executado sempre por proporções adequadas, levando em conta a relação do aglomerante e agregado, divisão de agregados miúdos e graúdos, e a relação  $a/c$ . As propriedades do concreto irão depender das características dos materiais empregados na sua fabricação.

As qualidades essenciais e buscados neste estudo de caso é a consistência, trabalhabilidade e resistência à compressão.

### 2.2.1 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto é resumida em proporcionar adequadamente os materiais para confecção do concreto, para o desempenho de características. Sendo as mais importantes, a trabalhabilidade e resistência do concreto endurecido (METHA & MONTEIRO, 1994).

Dosagem experimental é baseada em estudos científicos, e atualmente existem vários tipos, como por exemplo o IPT, INT, ABCP, entre outros. Para o estudo em questão foi escolhido o método de dosagem ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

#### 2.2.1.1 Método ABCP

O método ABCP foi publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento Portland, de autoria do Engenheiro Públio Penna Firme Rodrigues. É um método baseado na norma ACI 211.1-81. O método pode ser em tabelas e gráficos elaborados de resultados experimentais, as quais facilitam a determinação critérios para obtenção do traço (BOGGIO, 2000).

Para execução do método é preciso fazer a caracterização dos materiais utilizados. Para os agregados, granulometria, massa específica e unitária, módulo de finura e dimensão máxima. Para o aglomerante, massa específica e resistência aos 28 dias. Para o concreto a consistência e a resistência.

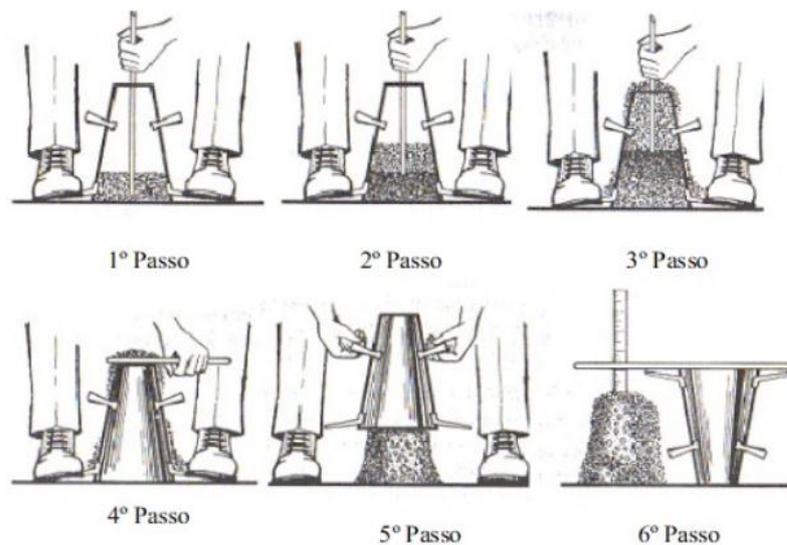
### 2.2.2 Consistência e trabalhabilidade

A consistência se refere às características específicas do concreto, e tem mais haver com o aspecto da massa e a harmonia de seus componentes. De acordo que altera o grau de umidade do concreto, conseqüentemente ocorrerá alterações nas características de plasticidade e, possivelmente de deformação (SOBRAL, 1996).

O método usado no estudo de caso para determinar a consistência será o *slump test*, conhecido também como abatimento do tronco de cone. Os ensaios serão realizados conforme a NBR NM 67 - 1998. Primeiramente o molde e a base serão molhados, o molde será colocado sobre a placa. Para manter o molde estável será necessário colocar os pés sobre as aletas. Posteriormente então, começar a encher o molde, em três camadas, compactar com a

haste de socamento, 25 golpes, cada camada. Na parte superior nivelar com uma desempenadeira. Depois de nivelado retirar o molde e medir imediatamente a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova. A figura 3 ilustra como é realizado o ensaio.

Figura 3 – Passo a passo do *slump test*



FONTE: CLUBE DO CONCRETO, 2003.

A noção de trabalhabilidade é mais abstrata que física. A parte física mais importante da trabalhabilidade é a consistência, que justaposto ao concreto traz propriedades essenciais da mistura fresca relativas ao aspecto da massa e harmonia entre os componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto e uma boa execução (SOBRAL, 1996).

### 2.2.3 Resistência à compressão

A definição de resistência para Mehta e Monteiro (1994) é:

‘A resistência de um material é definida como a capacidade deste resistir à tensão sem ruptura. A ruptura é algumas vezes indicada com o aparecimento de fissuras.’

São inúmeros fatores que afetam a resistência à compressão do concreto, é possível exemplificar a idade, relação a/c, qualidade do cimento, condições de cura, entre outros. O método atual de cálculo da compressão é feita através do método de Gauss, o qual leva em

consideração todos esses fatores, encontrando assim um valor mais preciso da resistência à compressão (HELENE E TARZIAN, 1993).

Para o estudo será utilizado a NBR 5739 - 1994, nas datas pré-definidas os corpos de prova serão ensaiados a resistência à compressão em prensa eletrônica, seguindo todos os requisitos estabelecidos em norma.

#### 2.2.4 Aceitação da substituição de agregados

O uso de materiais que possivelmente acabaria no lixo é de suma importância, e graças aos avanços na tecnologia dos materiais de construção que estão facilitando a sua reutilização propondo uma vida útil, mesmo após o seu uso comum, como: vidro, pet, madeira, aço, entre outros.

A aceitação de materiais distintos ainda é uma hipótese, e vem sendo estudada diariamente, onde tais estudos prezam a relação custo benefício e a escassez dos materiais primários usados para confecção do concreto.

Isaia (2010) define e defende a reutilização de materiais no concreto:

É um dos materiais que mais se adaptam ao conceito de sustentabilidade, tão difundido e requerido hoje em todos os setores da sociedade, porque, pelo efeito de escala seu uso, pequenos ganhos unitários podem se transformar em valores muito expressivos em economia de matéria prima, de energia e de emissão de gases tóxicos a atmosfera, além da possibilidade de reutilização, em larga escala, de resíduos potencialmente poluidores do meio ambiente, originados de outros processos industriais (ISAIA, 2010).

Pode-se observar que há uma série de materiais inertes e com grande potencial de reaproveitamento como agregados do concreto. Vem aumentando os estudos e teses onde materiais que possivelmente seriam descartados, estão sendo reutilizados na confecção de concretos.

Como é possível identificar quais materiais poderão ser reutilizados? O mais sensato é usando o bom senso, mesmo que não considerado como um conceito científico é o meio mais eficaz e prático para decisões alternativas (ADDIS, 2010).

## 2.3 CORRELAÇÃO DO CONCRETO COM A SUSTENTABILIDADE

A redução dos impactos ambientais tem estimulado a população na busca de conceitos sustentáveis. Sustentabilidade para Leff (2001) pode ser definida como:

O princípio de sustentabilidade surge como uma resposta à fratura da razão modernizadora e como uma condição para construir uma nova racionalidade produtiva, fundada no potencial ecológico e em novos sentidos de civilização a partir da diversidade cultural do gênero humano. Trata-se da reapropriação da natureza e da invenção do mundo; não só de um mundo no qual caibam muitos mundos, mas de um mundo conformado por uma diversidade de mundos, abrindo o cerco da ordem econômica-ecológica globalizada (LEFF, 2001).

Logo a indústria concreteira pode ser citada como uma iniciante no conceito de sustentabilidade, mesmo possuindo amplos materiais os quais podem substituir seus componentes.

### 2.3.1 Origens da construção

O conceito de reúso de itens construtivos e reciclagem dos materiais vêm desde o século XIX, tais práticas que atualmente continuam em países subdesenvolvidos e devido aos estudos relacionados, estão voltando na atualidade. Por exemplo, na Grécia, Roma e Egito antigos, os blocos de pedra eram reutilizados devido ao lucro, pois a força humana e provavelmente a distância que estariam às novas pedras não compensariam (ADDIS, 2010).

A população do século passado tinha maior visão quanto ao reuso, porém devido às facilidades do mundo moderno, as pessoas se acomodaram. Para muitos é um conceito novo, porém é somente um ensinamento que obtivemos a milhares de anos. Onde povos sem tecnologia, sem instrução construía monumentos grandiosos e gloriosos, apenas com poucos materiais, equipamentos, e também pouco conhecimento. Eles reutilizavam restos de ruínas, e apenas fontes naturais que a própria natureza oferecia.

Às vezes o necessário é regredir um pouco no tempo e aprender aperfeiçoar técnicas antigas já conhecidas, como a utilização de materiais descartados.

### 2.3.2 **Produção atual do concreto e extração das matérias-primas**

A produção do concreto pode ser considerada como o maior consumidor de matéria-prima na construção civil, pois é utilizado areia natural, pedregulho, água, que resulta em grande estrago ambiental.

### 2.3.3 **Conscientização quanto à visão ambiental**

As vantagens para o meio ambiente são evitar o descarte inadequado de resíduos sólidos industriais, o que pode causar contaminação de solos e águas subterrâneas, e proporcionar a economia de recursos naturais (PABLOS, 2012).

## 2.4 **VIDRO**

### 2.4.1 **História do vidro**

A história do vidro foi de suma importância em todas as épocas, foi um material que participou ativamente do passar das épocas, e até hoje é bastante utilizado. Quando se recorda do início da sociedade, logo se lembra daquelas enormes igrejas com detalhes de vidro. São artefatos tão antigos que não foi encontrado a data exata de descoberta. No mundo moderno o vidro ainda continua chamando atenção, são várias edificações que o usam como revestimento externo.

Atualmente o vidro está relacionado com a construção civil, é utilizado em praticamente em toda construção, por exemplo, nas janelas das casas, no espelho e box do banheiro. São diversos os tipos de vidros que estão presentes em nossos dias.

### 2.4.2 **Conceito e composição do vidro**

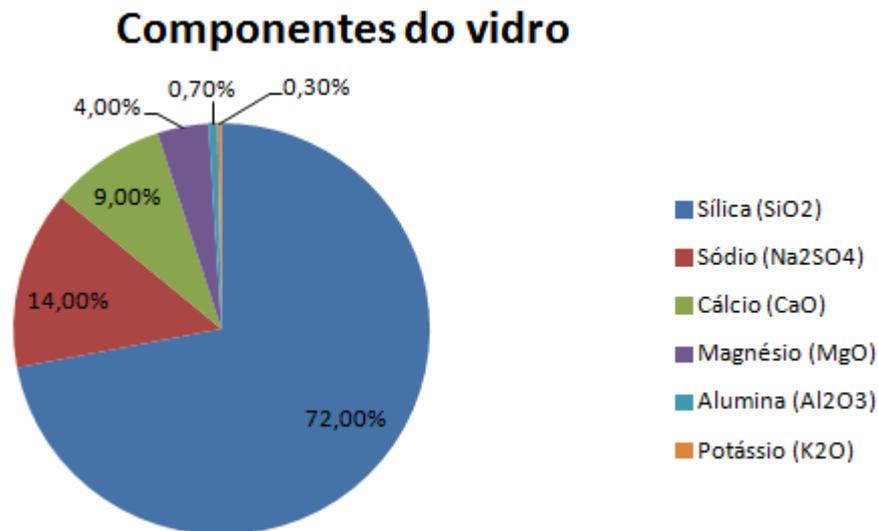
O vidro é um material muito utilizado, e o seu conceito pode ser definido de várias formas, o conceito de vidro mais conhecido é definido pela CEBRACE (2015) como:

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas principais qualidades são a transparência

e a dureza. O vidro tem incontáveis aplicações nas mais variadas indústrias, dada suas características de inalterabilidade, dureza, resistência e propriedades térmicas, ópticas e acústicas, tomando-se um dos poucos materiais ainda insubstituível, estando cada vez mais presente nas pesquisas de desenvolvimento tecnológico para o bem-estar do homem (CEBRACE, 2015).

A figura 4 ilustra os componentes do vidro, os quais são responsáveis pela dureza, resistência, transparência e todas as outras características.

**Figura 4 - Componentes do vidro**



FONTE: (CEBRACE, 2015).

As características físicas do vidro são (SICHIERI, CARAM e SANTOS, 2007):

- Coeficiente de Dilatação =  $9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  ;
- Módulo de Elasticidade = 75 GPa;
- Tensão de Ruptura = 1.800 Kgf/cm<sup>2</sup>;
- Tensão de Compressão (Vidro Temperado) = 1000 Kgf/cm<sup>2</sup>.

### 2.4.3 Estudos de aproveitamento do vidro

São diversas teses, monografias e estudos de caso que englobam o reaproveitamento do vidro, podem ser encontrados estudos na substituição dos agregados, tanto miúdos quanto graúdos, do cimento ou como uma adição de composição.

Foram escolhidos dois destes estudos para apresentar o resultado, e fazer um comparativo com o presente estudo, são eles:

- Reaproveitamento de resíduo de construção na produção de argamassa de revestimento (CANEDO; BRANDÃO; PEIXOTO FILHO, 2011).
- Estudo da viabilidade para a produção de concretos com adição de resíduos de vidro em substituição ao agregado miúdo na cidade de Palmas - TO (R. S. CORDEIRO; A. L. B. MONTEL, 2015).

#### 2.4.3.1 Resultados de estudos na produção de concreto

O resultado obtido em ambos os trabalhos foram favoráveis, podendo comprovar que é possível introduzir o material como agregado, evitando o desperdício, o descarte inapropriado na natureza. As considerações para os respectivos estudos citados no item 2.4.3, estão descritos abaixo:

Segundo Canedo, Brandão e Peixoto (2011):

O reaproveitamento desse resíduo na indústria da construção civil é viável, considerando que sendo utilizado na produção de concretos convencionais produziu resultados muito satisfatórios, quando comparados com os dos corpos de prova de referência. A inserção do resíduo em substituição da areia na produção de concretos, tende a reduzir o custo do concreto, visto que, promove a redução da quantidade de areia a ser usada. O reaproveitamento do resíduo de vidro evita o descarte em aterros, tornando os concretos produzidos com a substituição parcial do agregado miúdo um material de construção sustentável, intensificando a cadeia produtiva do vidro, dando um novo fim ao material que antes era inutilizado (CANEDO, BRANDÃO E PEIXOTO, 2011).

Segundo Cordeiro e Montel (2015) o resultado foi o seguinte:

O novo traço de argamassa obteve resultados positivos em relação ao ensaio de aderência à tração, aprovando a utilização de resíduos de argamassa na produção de novas argamassas para revestimentos. O revestimento testado com a argamassa contendo resíduo obteve resultados semelhantes aos do revestimento com argamassa convencional (CORDEIRO E MONTEL, 2015).

Devido a tais resultados e o fato do vidro ser composto de 72% de sílica, cuja matéria prima é a areia, o estudo será voltado ao vidro moído como agregado miúdo do concreto, onde será verificada a viabilidade de substituição.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MÉTODO EXPERIMENTAL

O método experimental tem como finalidade analisar a probabilidade de utilização de vidro moído na confecção de concretos. Para tal fim foi utilizado o método experimental da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Os materiais passaram pelo processo de caracterização, que será descrito nos próximos tópicos.

##### 3.1.1 Variáveis do método experimental

A elaboração do método experimental teve como objetivo determinar quais as informações, parcela e as condições que o resultado deverá obter. Este procedimento visa o estudo de viabilidade da substituição. Foi definido então os fatores dependentes, independentes e tipo, conforme a tabela 6.

**Tabela 6 – Fatores incluídos no estudo**

Tipo de fator	Fatores
Dependente	→ Resistência à compressão aos 28 dias (25MPa)
Independente	→ Parcela de vidro moído (0%, 5%, 10% e 15%)
	→ Idade da realização de cada corpo de prova
	→ Tipo de cimento (CPII E - 32)
Controle	→ Tipo de agregados
	→ Relação água/cimento
	→ Processo de mistura
	→ Processo de cura

FONTE: (Próprio autor, 2018).

É possível demonstrar na equação 1 a quantidade de corpos de prova pela relação vidro moído pela idade de verificação de resistência.

$$np * ni * nc$$

$$3 * 4 * 3 = 36$$

(1)

Onde:

np = número de proporção de vidro moído

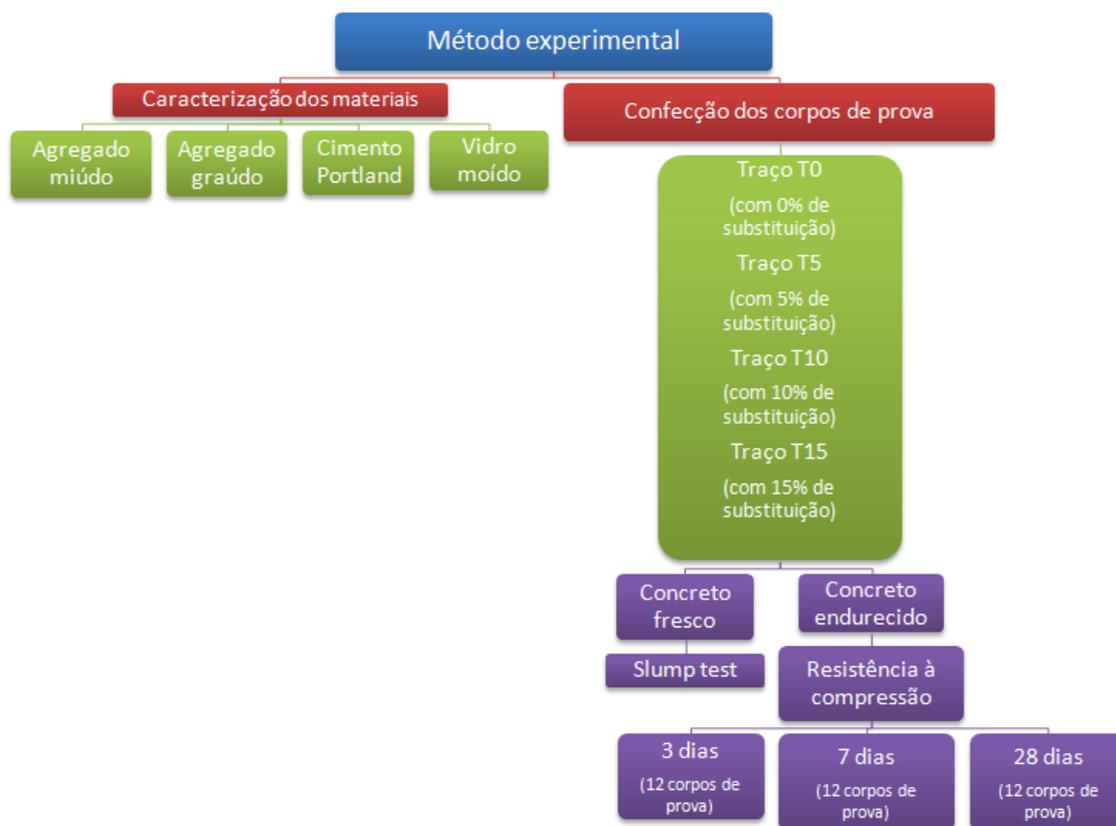
ni = número de idades que serão realizados o ensaio

nc = numero de corpos de prova submetidos ao ensaio de idade

Para a realização do estudo foi necessário a confecção de 36 corpos de prova, visto que há uma relação entre cada tipo de traço e de idade do ensaio à compressão. O resultado final será obtido através da média aritmética.

Os ensaios foram executados nas datas previstas, porém houve um contratempo no equipamento utilizado, logo, o ensaio de 3 e 7 dias foi realizado no Centro Tecnológico da UniEvangélica, campus Anápolis e o ensaio de 28 dias foi realizado no laboratório de sólidos do IFG (Instituto Federal Goiano), os operadores usaram do mesmo procedimento durante a realização do ensaio. A figura 5 detalha o método experimental realizado.

Figura 5 - Organograma do método experimental



FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

## 3.2 MATERIAIS

Foram usados para a confecção dos 36 corpos de prova de concreto, os seguintes materiais: areia natural e brita, cedida pela UniEvangélica, cimento Portland CP II – E que foi adquirido em material de construção, água fornecida pela companhia de saneamento (SANEAGO) e retalhos de vidros doados de 6 vidraçarias de Anápolis, Goiás.

### 3.2.1 Cimento

O cimento Portland utilizado para realização do estudo foi do tipo CP II E -32 conforme a norma NBR 11578 - 1991. Foi escolhido um cimento comum e mais popular, que é encontrado com facilidade no mercado, além do custo mais acessível. As características físico-químicas e a granulometria foram retiradas do laudo do fabricante.

### 3.2.2 Agregado miúdo

Para agregado miúdo foi utilizado areia prevista na NBR 7211 - 2009 inclusa no limite da zona ótima. Para fim de caracterizar o agregado, foram realizados ensaios no Centro Tecnológico da UniEvangélica – CT/UniEvangélica. As características da areia estão detalhadas na tabela 7 e 8 e sua curva granulometria na figura 6.

**Tabela 7- Características do agregado miúdo (areia)**

<b>Características</b>	<b>Método de ensaio</b>	<b>Resultado</b>
Módulo de finura	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,41
Dimensão máxima característica (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,36
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	3,57
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,21

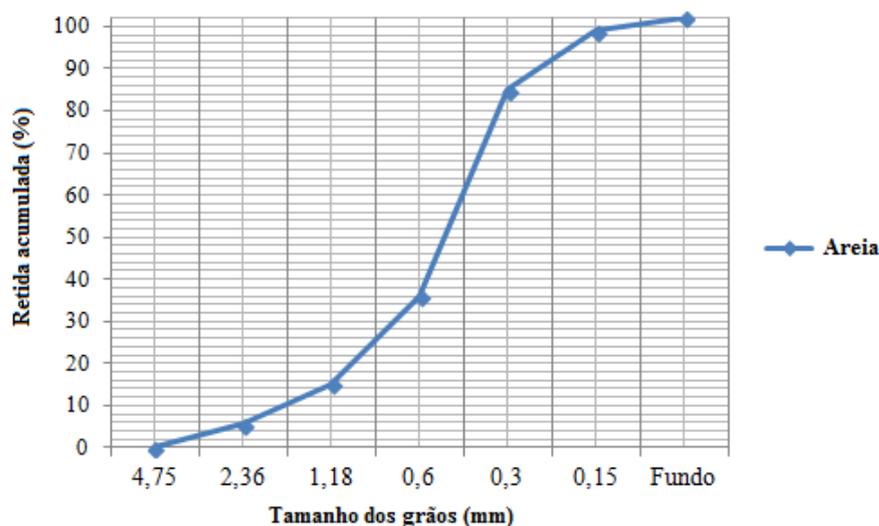
FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

**Tabela 8 - Granulometria do agregado miúdo (areia), descrita na NBR 7217 (ABNT, 1987)**

Peneira (mm)	1º determinação		2º determinação		% retida média	% retida acumulada
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida		
4,75	0	0	0	0	0	0
2,36	30	6	25	5	5,5	5,5
1,18	50	10	45	9	9,5	15
0,6	110	22	100	20	21	36
0,3	245	49	245	49	49	85
0,15	65	13	75	15	14	99
Fundo	15	3	15	3	3	102

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Figura 6- Curva granulométrica do agregado miúdo (areia), conforme NBR NM 48 (ABNT, 2003)



FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

### 3.2.3 Agregado graúdo

Para o agregado graúdo foi utilizado a brita, em duas especificações conhecidas por brita 0 e brita 1. Para fim de caracterizar o agregado, foram realizados ensaios no CT/UniEvangélica. As características das britas estão detalhadas nas tabelas 9, 10 e 11 e as curvas granulométricas na figura 7, as quais atenderam às normas técnicas.

Tabela 9 - Características do agregado graúdo (brita 0 e 1)

Características	Método de ensaio	Resultado
Dimensão máxima característica (BRITA 0) (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	12,5
Dimensão máxima característica (BRITA 1) (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	12,5
Massa específica (BRITA 0)(g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,84
Massa específica (BRITA 1)(g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 53 (ABNT, 2009)	2,81
Massa unitária (BRITA 0) (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 45 (ABNT, 2003)	1,23
Massa unitária (BRITA 1) (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 45 (ABNT, 2003)	1,34

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Tabela 10 - Granulometria do agregado graúdo (Brita 0), descrita na NBR 7217 (ABNT, 1987)

Peneira (mm)	1º determinação		2º determinação		% retida média	% retida acumulada
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida		
25	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
12,5	0	0	15	0,5	0,25	0,25
9,5	330	11	455	15,17	13,08	13,33
4,75	2445	81,5	2330	77,67	79,58	92,92
2,36	190	6,33	190	6,33	6,33	99,25
Fundo	5	0,17	5	0,17	0,17	99,42

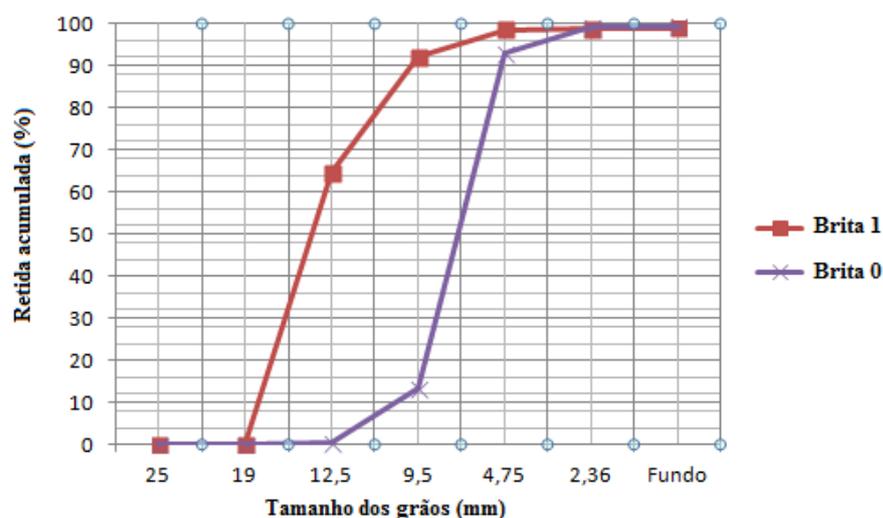
FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Tabela 11 - Granulometria do agregado graúdo (Brita 1), descrita na NBR 7217 (ABNT, 1987)

Peneira (mm)	1º determinação		2º determinação		% retida média	% retida acumulada
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida		
25	0	0	0	0	0	0
19	0	0	10	0,2	0,1	0,1
12,5	3140	62,8	3315	66,3	64,55	64,65
9,5	1430	28,6	1320	26,4	27,5	92,15
4,75	330	6,6	315	6,3	6,45	98,6
2,36	15	0,3	10	0,2	0,25	98,85
Fundo	10	0,2	5	0,1	0,15	99

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Figura 7 - Curva granulométrica dos agregados graúdos (Brita 0 e 1), conforme NBR NM 48 (ABNT, 2003)



FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018)

### 3.2.4 Vidro moído

O vidro usado para o estudo foi de doação de vidraçarias de Anápolis – Goiás, que preferiram não ser identificadas. O material foi cedido por meio de retalhos, cacos quebrados ou sobras de corte. Para obter o vidro moído em pequenas partículas para assemelhar-se com a areia, houve uma quebra manual, portando de todos os EPI'S. A figura 8 indica todo o processo que foi executado, a obtenção até o vidro em pequenas partículas.

**Figura 8 – Esquemática da obtenção do vidro moído**



FONTE: PRÓPRIO AUTOR, 2018.

Como pôde ser visto, o processo de moagem foi por processo manual e com equipamentos improvisados, todo o processo de quebra dos vidros foi executado com EPI's, luvas e óculos de proteção. A moagem do vidro foi realizada no CT/UniEvangélica.

Assim que os maiores cacos do vidro foram se despedaçando foi surgindo um pó, um material considerado como pulverulento, e esse material por absorver demasiadamente água poderia atrapalhar a trabalhabilidade do traço, portanto, conforme a moagem era executada as partículas obtidas eram peneiradas, por agitador mecânico, nas peneiras de malhas da ABNT, até atingir uma granulometria um pouco similar a da areia. As partículas maiores eram devolvidas a moagem e o material que restava no fundo era descartado. Após a moagem e o peneiramento de toda a amostra obtida foi possível chegar ao resultado mostrado na figura 9.

**Figura 9 - Vidro moído peneirado**

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Após todo o peneiramento do material, foi realizado a granulometria do vidro, onde foi executado conforme a normativa dos agregados miúdos e graúdos, NBR 7217 - 1987. Na tabela 12 é demonstrado a granulometria do vidro moído.

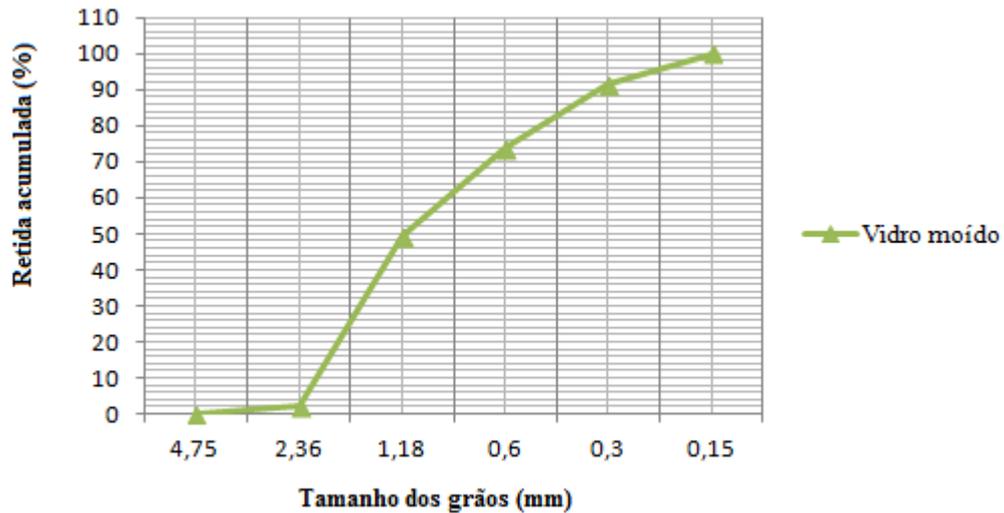
**Tabela 12- Granulometria do vidro**

Peneira (mm)	1º determinação		2º determinação		% retida	% retida
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida		
4,75	0	0	0	0	0	0
2,36	10	2	10	2	2	2
1,18	245	49	230	46	47,5	49,5
0,6	115	23	125	25	24	73,5
0,3	85	17	95	19	18	91,5
0,15	45	9	40	8	8,5	100
Fundo	5	1	5	1	1	101

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

A partir da caracterização do vidro moído foi possível obter o módulo de finura, que foi encontrado de 3,16. Além do módulo de finura, também foi executado a curva granulométrica, ilustrada na figura 10.

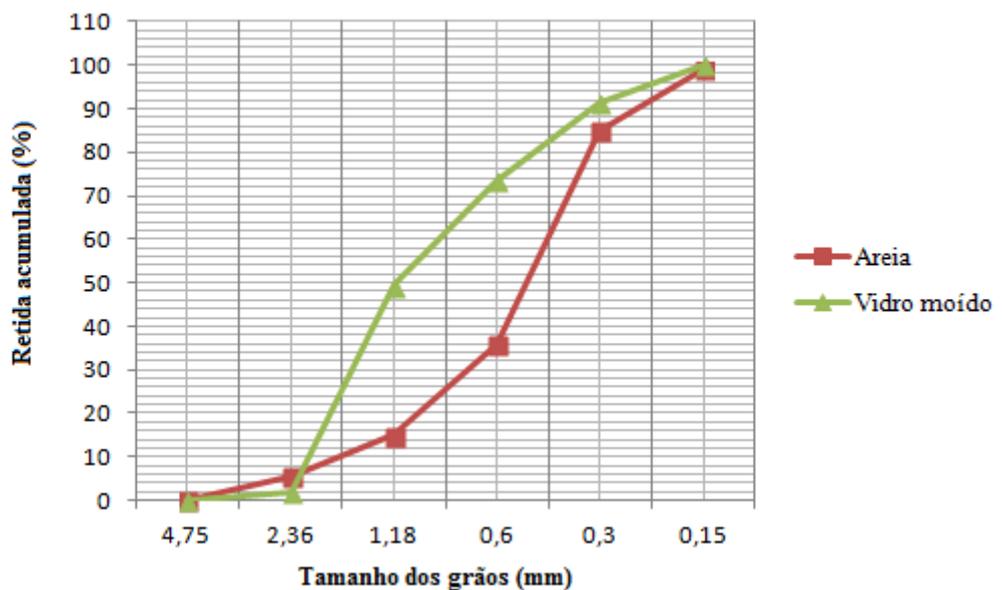
**Figura 10- Curva granulométrica do vidro moído**



FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

A fim de comparar as propriedades da areia com o vidro moído, a figura 11 representa a sobreposição das curvas granulométricas desses dois agregados.

**Figura 11 - Sobreposição das curvas granulométricas da areia e vidro moído**



FONTE: (Próprio autor, 2018).

O resultado obtido entre as curvas granulométricas foi um pouco distinta, devido a moagem do vidro. Quando o vidro chega a uma certa dimensão há uma grande dificuldade em quebrá-lo mais.

### 3.3 PREPARAÇÃO PARA CONFECÇÃO E ENSAIOS

Após a caracterização dos materiais, foram preparados os traços de concreto conforme a substituição apresentada, para a realização dos ensaios no estado endurecido e fresco.

O programa de estudo experimental dos concretos foi feito conforme do Método de dosagem ABCP. O traço foi definido gradativamente com o método de dosagem, em massa 1:2,45; 1,21:0,53 (cimento, areia, brita 0 e brita 1) com relação de água/cimento (a/c) de 0,50. Este traço foi calculado para resistência aos 28 dias de 25 MPa. A substituição da areia pelo vidro moído se deu através do peso.

Os corpos de prova foram preparados em quatro tipos, o primeiro sem adição de vidro moído (traço referência) e traços com substituição parcial de vidro moído pela areia, nas seguintes proporções: 5%, 10% e 15%. As nomenclaturas adotadas para cada traço confeccionado foram listadas na tabela 13, simultaneamente com a composição, em quilogramas, dos demais materiais.

**Tabela 13 - Nomenclatura dos tipos de traços e quantidade de massa de cada material (kg)**

<b>Detalhamento</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Vidro moído</b>	<b>Brita 0</b>	<b>Brita 1</b>	<b>a/c</b>
Traço referência	T0	11,5	24,52	0	12,32	5,2	5,75
Traço com 5% de substituição	T5	11,5	23,29	1,22	12,32	5,2	5,75
Traço com 10% de substituição	T10	11,5	22,07	2,45	12,32	5,2	5,75
Traço com 15% de substituição	T15	11,5	20,84	3,68	12,32	5,2	5,75

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Os traços confeccionados de acordo com a dosagem definida passaram pelo processo de caracterização na condição fresco e endurecido. Na condição fresco o ensaio de consistência foi realizado e na condição endurecido o ensaio de compressão axial foi realizado.

Para a confecção dos traços de concreto foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado (CSM), com capacidade de 250 litros. Para a execução dos traços, o primeiro passo foi colocar toda a brita e metade da água, após a brita absorver bem a água foi adicionado o cimento, onde foi misturado por mais ou menos 1 minuto e já era notável que o mesmo ‘embrulhava’ todos os grãos da brita, logo em seguida era colocado a areia, e por fim o restante da água.

A sequência de materiais colocados na betoneira se manteve constante, e nos traços com substituição, o vidro era colocado logo após a areia. Ao final da mistura o resultado obtido foi satisfatório e bastante homogêneo, todos os 4 traços ficaram com aspecto similar, como demonstrado na figura 12.



FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Logo após a manipulação dos traços de concreto foi iniciado a moldagem dos corpos de prova, em fôrmas cilíndricas de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme a norma NBR 5739 - 1994. Os corpos moldados e identificados estão ilustrados na figura 13. Todos os corpos de prova da imagem foram rompidos, a fim da realização do ensaio de compressão axial.

**Figura 13 - Corpos de prova moldados**



FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Depois de passados 24 horas os corpos de prova foram desmoldados, identificados, com data de moldagem e tipo de traço. Posteriormente foram armazenados em câmara úmida a fim de iniciar sua cura, foram mantidos na câmara até os dias de realização do ensaio.

### 3.3.1 Ensaio do concreto

#### 3.3.1.1 Condição concreto fresco – *Slump test*

Em seguida do término da mistura na betoneira foi realizado o ensaio de consistência pelo abatimento de tronco de cone. O ensaio foi realizado conforme a NBR NM 67 - 1996 e foram classificados conforme NBR 8953 - 2009, e a consistência adotada foi a S50 classificada conforme a NBR 8953 - 2009 na qual a faixa de consistência vai de 50 a 100mm, a tabela 14 demonstra a classe de consistência segundo a NBR. Os resultados do teste segundo a NBR NM 67 - 1996 estão descritos na tabela 15.

**Tabela 14 - Classes de consistência de acordo com a NBR**

Classe	Abatimento
S10	$10 < A < 50$
S50	$50 < A < 100$
S100	$100 < A < 160$
S160	$160 < A < 220$
S220	$A > 220$

FONTE: (Próprio autor, 2018).

**Tabela 15 - Resultados do Slump Test**

Traço	Índice de consistência obtido	Classe	Abatimento
T0	80		
T5	70	S50	$50 < A < 100$
T10	68		
T15	72		

FONTE: (Próprio autor, 2018).

O traço calculado foi para um *Slump test* 80 mm a 100 mm. O traço referência foi satisfatório, porém os traços com substituição sofreram uma diminuição na consistência, mas todas as misturas foram consideradas trabalháveis.

### 3.3.1.2 Condição do concreto endurecido – Resistência à compressão

No estado endurecido foram realizados os ensaios mecânicos de resistência à compressão. Os corpos de prova foram mantidos até a data do ensaio em câmara úmida, atendendo as normas brasileiras.

O ensaio de resistência à compressão, de 3 e 7 dias, foi realizado com o auxílio de uma prensa hidráulica (CONTENCO) de mostrador digital, pertencente ao CT da UniEvangélica.

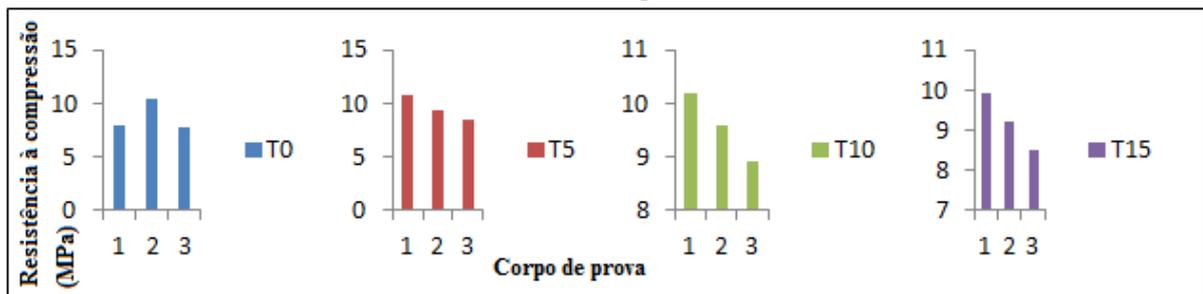
O ensaio de resistência à compressão, de 28 dias, foi realizado com o auxílio de uma prensa hidráulica (EMIC) de mostrador digital, pertencente ao Laboratório de sólidos do IFG.

Para cada traço e cada idade, foram rompidos 3 corpos de prova sendo as idades de ensaios de 3, 7 e 28 dias conforme NBR 5739 - 1994. Os valores da compressão axial aos 3, 7 e 28 dias podem ser observados na tabela 16, e a ilustração das compressões nos gráficos 1, 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 16 - Compressão axial dos traços**

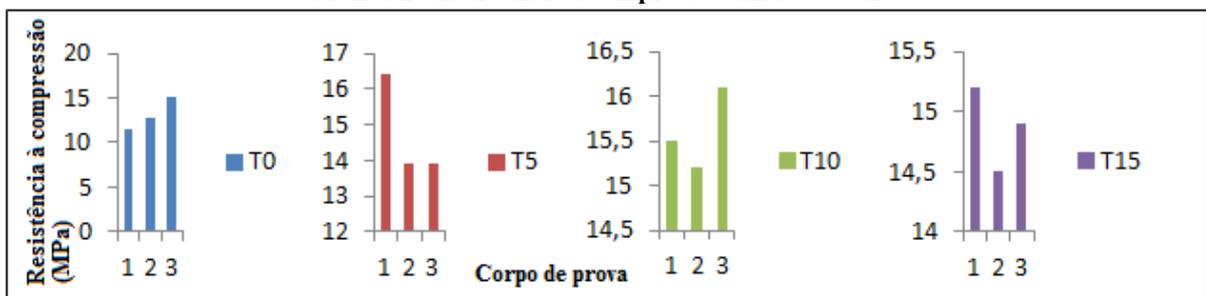
Traço	Idade	Resistência à compressão (Mpa)			Resistência média à compressão (Mpa)
T0	3	7,9	10,4	7,8	8,70
	7	11,4	12,7	15	13,03
	28	23,67	20,03	23,37	22,36
T5	3	10,7	9,3	8,5	9,50
	7	16,4	13,9	13,9	14,73
	28	21,27	20,67	21,27	21,07
T10	3	10,2	9,6	8,9	9,57
	7	15,5	15,2	16,1	15,60
	28	19,46	21,47	20,36	20,43
T15	3	9,9	9,2	8,5	9,20
	7	15,2	14,5	14,9	14,87
	28	19,79	20,83	20,78	20,47

FONTE: (Próprio autor, 2018).

**Gráfico 1 - Resultados de compressão axial aos 3 dias**

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

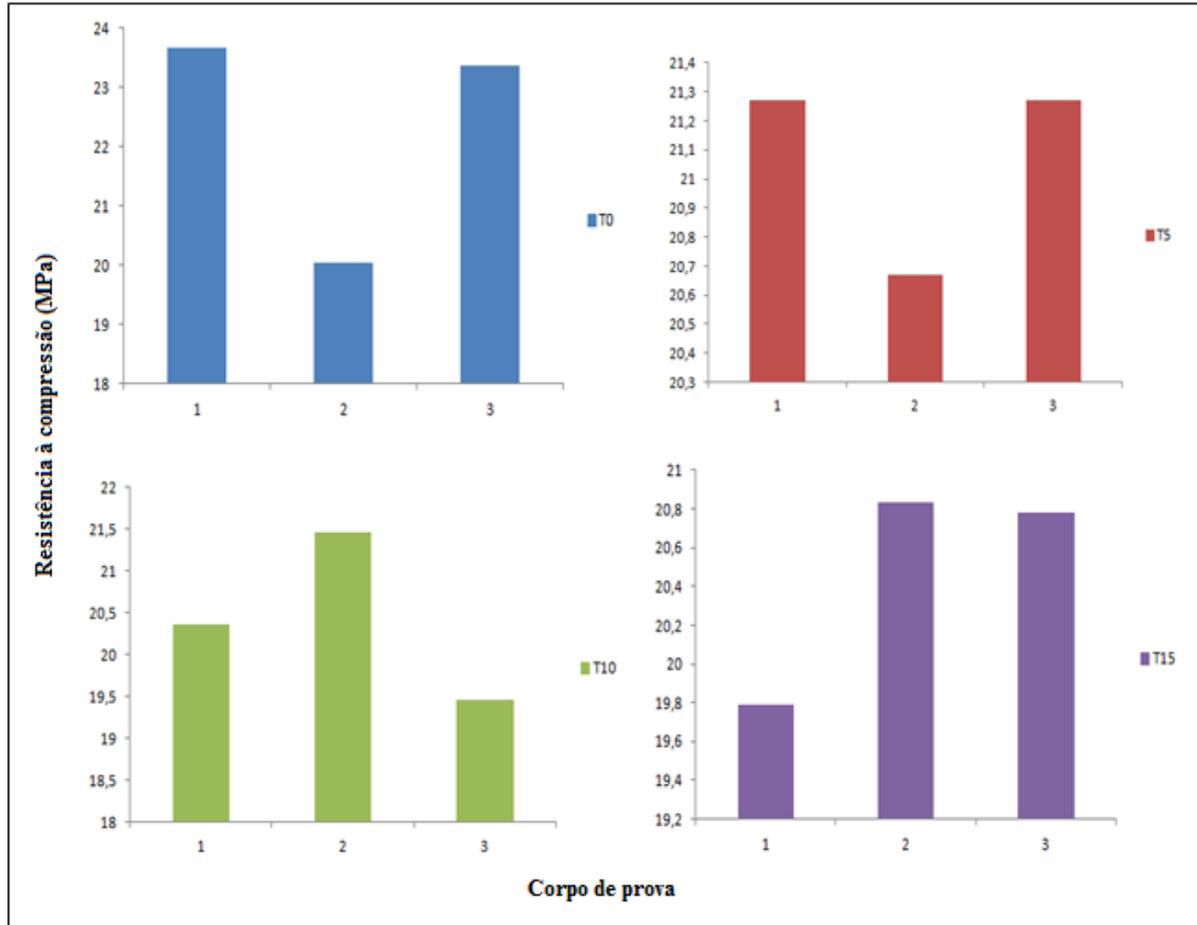
No primeiro ensaio de resistência à compressão, no dia 3, a média do resultados obtido entre os traços T5, T10 e T15 foram superiores ao T0.

**Gráfico 2 - Resistência à compressão axial aos 7 dias**

FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

No segundo ensaio de resistência à compressão, no dia 7, a média do resultados obtido entre os traços T5, T10 e T15 foram superiores ao T0.

**Gráfico 3 - Resistência à compressão aos 28 dias**

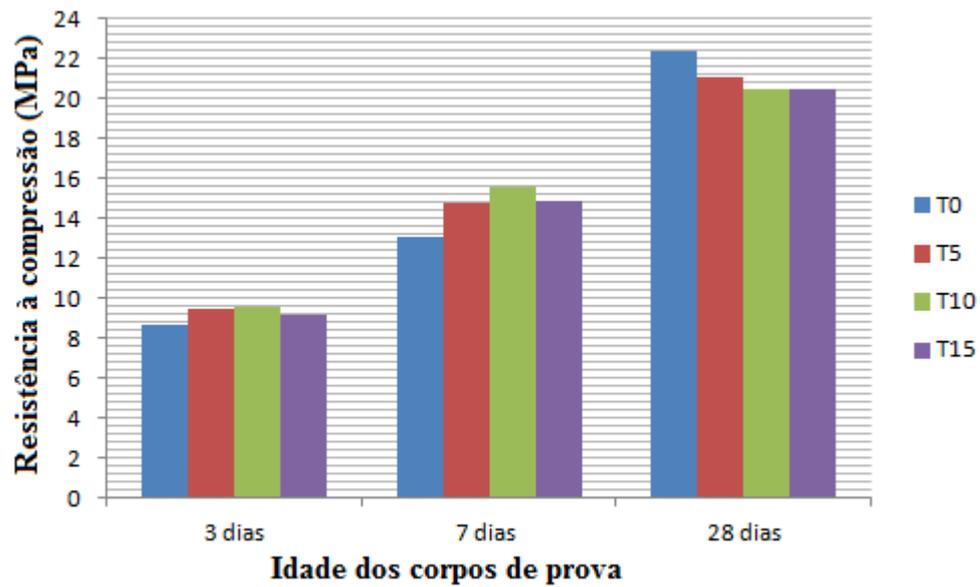


FONTE: (PRÓPRIO AUTOR, 2018).

No último ensaio de resistência à compressão, no dia 28, a média do resultados obtido entre os traços T5, T10 e T15 foram inferiores ao T0.

Os valores obtidos na resistência à compressão comprovam um crescimento médio da resistência com o aumento da idade. O gráfico 4 demonstra a média das resistências apresentadas nos gráficos acima.

Gráfico 4 - Média da resistência à compressão ao decorrer da idade



(FONTE: PRÓPRIO AUTOR, 2018).

Os traços foram aumentando a resistência ao decorrer da idade, porém na última verificação houve uma estagnação na resistência. Sendo assim é possível notar no gráfico 4 que a resistência desejada não foi a desejada.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios de resistência à compressão do concreto aos 28 dias de idade não obteve resultados satisfatórios, possivelmente pelas diferenças entre prensas dos ensaios de 3, 7 e 28 dias. Os ensaios de 3 e 7 dias foram realizados no CT-UniEvangélica, contudo no ensaio de 28 dias a prensa não estava funcionando, portanto o ensaio foi realizado no IFG.

Apesar do módulo de finura da fibra de vidro não ser tão semelhante ao do agregado miúdo, foi o que mais se aproximou dentre os materiais, além da proximidade com a densidade.

Em relação ao traço referência (T0), aos 28 dias, o traço com substituição T5 foi 5,76% menor a resistência à compressão e o T10 e T15 foram de 8,63% de menor a resistência. Entre os traços T0 e T15 a diferença de resistência foi mínima, logo é descartada uma diferença para análise. Com isso, não foi possível definir a proporção com que a resistência à compressão continuaria a diminuir com a substituição.

Pelo fato de não haver uma diferença significativa na substituição de 10% e 15% pelo vidro moído, sugere-se estudos com maiores quantidades a fim de se determinar a influência da substituição da resistência à compressão do concreto com maiores porcentagens.

## BIBLIOGRAFIA

ADDIS, Bill. **Reúso de materiais e elementos de construção**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 368 p. v. 1.

AOKI, Jorge. **Adicionar água suplementar ao concreto exige cuidados**. 2013. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/adicionar-agua-suplementar-ao-concreto-exige-cuidados/>. Acesso em: 03 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portlando de alto-forno. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

BAUER, L. A. FALCÃO. **Materiais de Construção: Novos Materiais para Construção Civil**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 471 p. v. 1.

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento portland**. 182f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

CANEDO, A.C.; PEIXOTO FILHO, F. L.: **Reaproveitamento de resíduo de construção na produção de argamassa de revestimento**, 2011.

CEBRACE, Vidros. **A composição do vidro**. 2015. Disponível em: <http://www.cebrace.com.br/#!/enciclopedia/interna/a-composicao-do-vidro>. Acesso em: 28 set. 2018.

CONCRETO, Clube do. **Curva de Abrams**. 2016. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2016/05/curvas-de-abrams.html>. Acesso em: 08 out. 2018.

CONCRETO, Clube do. **Slump test garante a resistência do concreto?**. 2003. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/slump-garante-resistencia-do-concreto.html>. Acesso em: 28 set. 2018.

CORDEIRO, R. S.; MONTEL, A. L. B.: **Estudo da viabilidade para a produção de concretos com adição de resíduos de vidro em substituição ao agregado miúdo na cidade de Palmas-TO**, 2015.

CRENTSIL, K. S., BROWN, T., TAYLOR, A., **Recycled glass as sand replacement in premix concrete**, Ed. EcoRecycled Australia and CSIRO, 2001.

HELENE, Paulo. **Concreto sustentável. Ideia Sustentável**, 16 julho de 2012.

ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. 862 p. v. 1.

KULAIIF, YARA. **Análise dos mercados de matérias primas minerais: estudo de caso da**

**indústria de pedras britadas do estado de São Paulo**, São Paulo, 2001.

LEFF, Enrique. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade**, poder. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001.

MAUA, Cimento. **Traço de concreto: a importância da água para a mistura do material**. 2017. Disponível em: <https://cimentomaua.com.br/blog/traco-de-concreto-importancia-da-agua-para-mistura-material/>. Acesso em: 08 out. 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades, Materiais**, São Paulo, Pini, 1994.

NETO J. C. M. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo: RIMA, 162p. 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. Tradução de Salvador E. Giammusso.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. [S.l.]: Bookman, 2015. 912 p. v. 1.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto e Construções**. Março, 2019.

PETRUCCI, ELADIO G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 6. ed. Porto Alegre: Globo, 1979. 307 p. v. 1.

RIBEIRO, Carmem Couto; PINTO, Joana Darc da Siva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 2011. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 112 p.

SICHERI, E. P.; CARAM, R.; SANTOS, J. C. P. dos. Vidros na Construção Civil. In: Isaia, Geraldo Cechella. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON.

SOBRAL, H.S. **Concretos leves: tipos e comportamento estrutural**. 3. ed. São Paulo: ABCP, 1996. 60p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 26: Agregados - Amostragem**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 27: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67:** Água Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7225:** Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 8953:** Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7214:** Areia normal. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578:** Cimento Portland composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 15900:** Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

## APÊNDICE 1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T0 – 3 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: T0

Tipo de ensaio: Compressão axial

Cliente: Responsável: Ianne

Data de Moldagem: 05/10/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Distância fixação

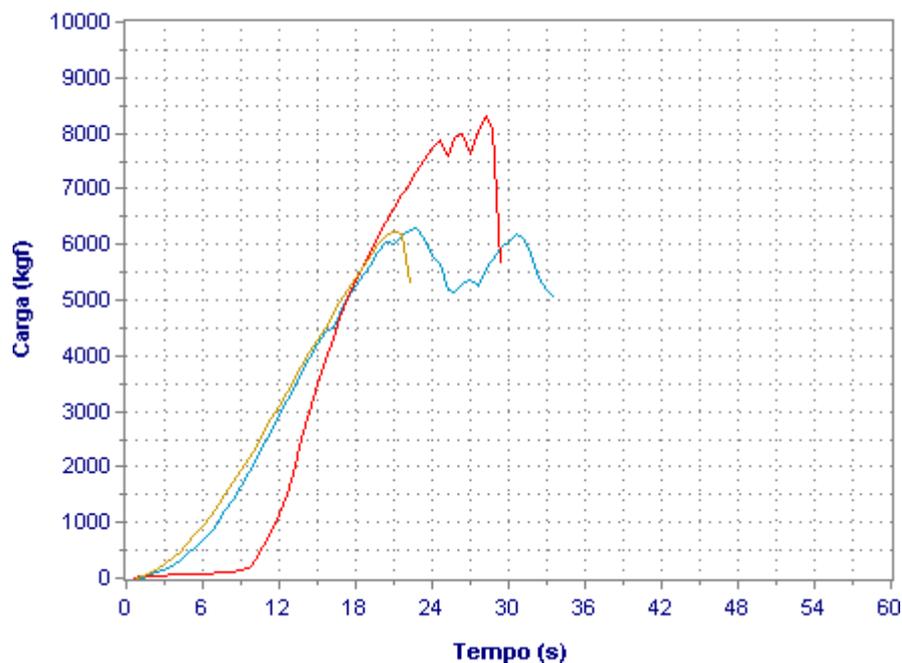
extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	3	7,9 (MPa)	6.310 (kgf)	
02	3	10,4 (MPa)	8.310 (kgf)	
03	3	7,8 (MPa)	6.220 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios

Carga (kgf) x Tempo (s)



## APÊNDICE 2 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T5 – 3 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: T5

Tipo de ensaio: Compressão axial

Cliente: Responsável: Ianne

Data de Moldagem: 05/10/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Distância fixação

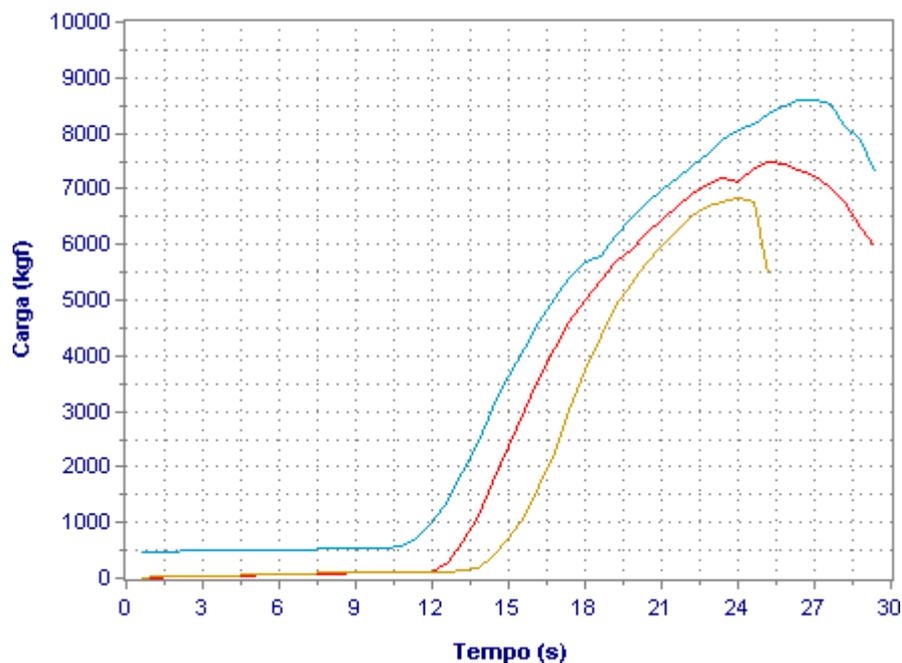
extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	3	10,7 (MPa)	8.600 (kgf)	
02	3	9,3 (MPa)	7.470 (kgf)	
03	3	8,5 (MPa)	6.840 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios

Carga (kgf) x Tempo (s)



## APÊNDICE 3 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T10 – 3 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: T10

Tipo de ensaio: Compressão axial

Cliente: Responsável: Ianne

Data de Moldagem: 05/10/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Distância fixação

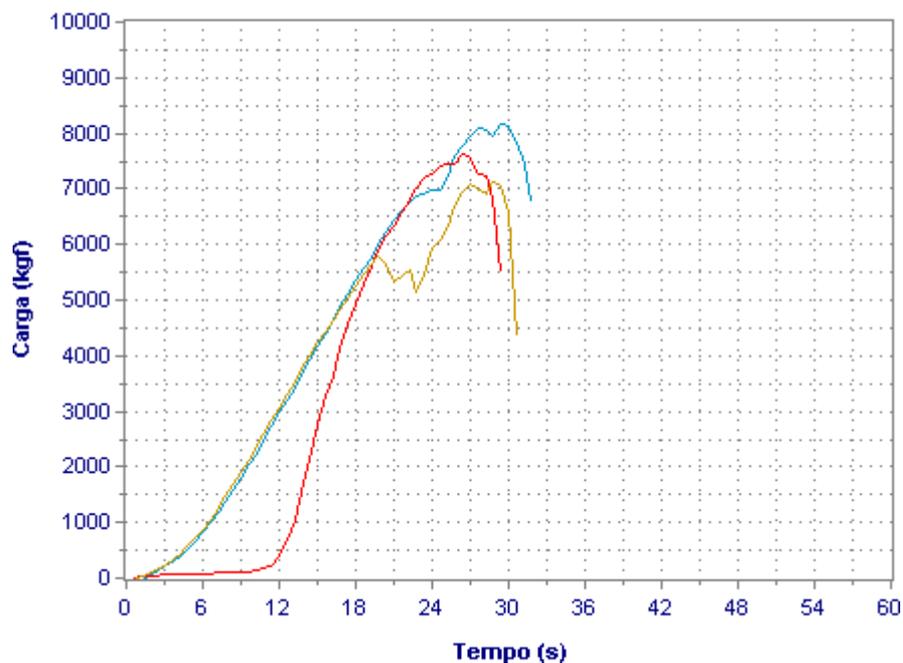
extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	3	10,2 (MPa)	8.180 (kgf)	
02	3	9,6 (MPa)	7.650 (kgf)	
03	3	8,9 (MPa)	7.140 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios

Carga (kgf) x Tempo (s)



## APÊNDICE 4 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T15 – 3 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: T15

Tipo de ensaio: Compressão Axial

Cliente: Responsável: Ianne

Data de Moldagem: 05/10/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

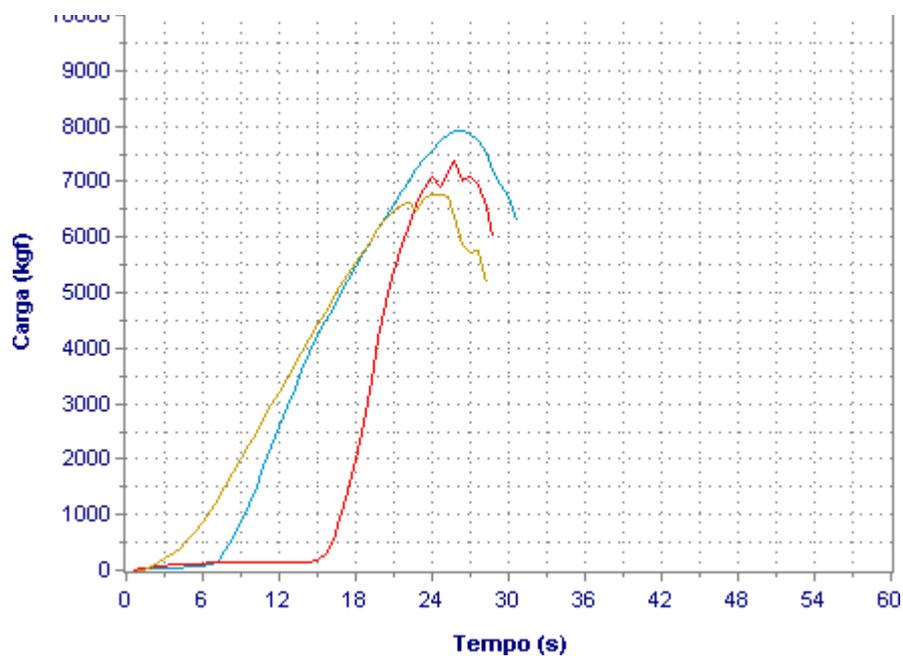
Distância fixação

extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	3	9,9 (MPa)	7.930 (kgf)	
02	3	9,2 (MPa)	7.380 (kgf)	
03	3	8,5 (MPa)	6.780 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios



## APENDICE 5 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T0 – 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: T0

Tipo de ensaio: Compressão axial

Cliente: Responsável: Ianne

Data de Moldagem: 05/10/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Distância fixação

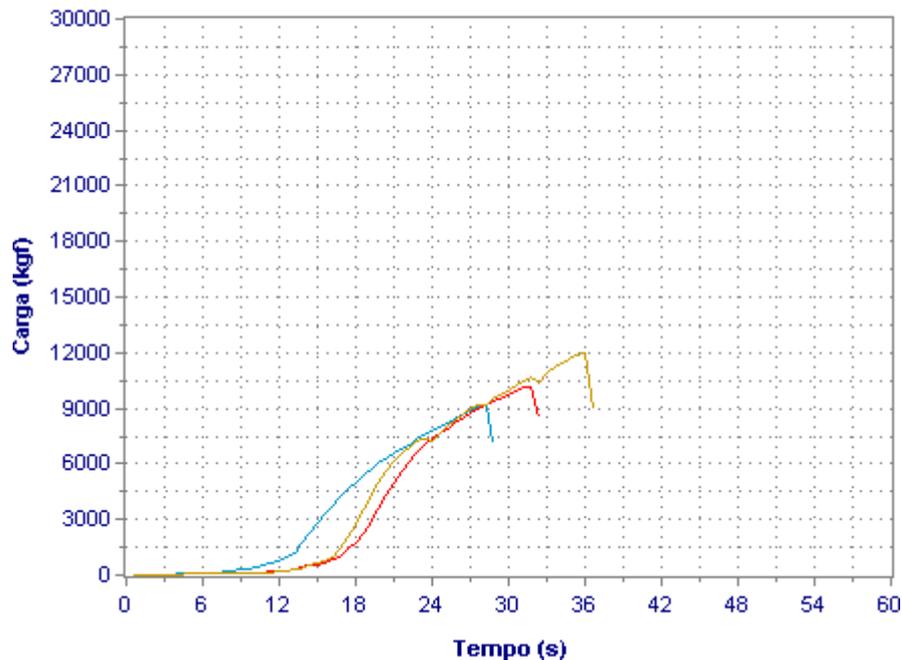
extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
04	7	11,4 (MPa)	9.130 (kgf)	
05	7	12,7 (MPa)	10.200 (kgf)	
06	7	15,0 (MPa)	12.000 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios

Carga (kgf) x Tempo (s)



## APENDICE 6 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T5 – 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: T5

Tipo de ensaio: Compressão axial

Cliente: Responsável: Ianne

Data de Moldagem: 05/10/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Distância fixação

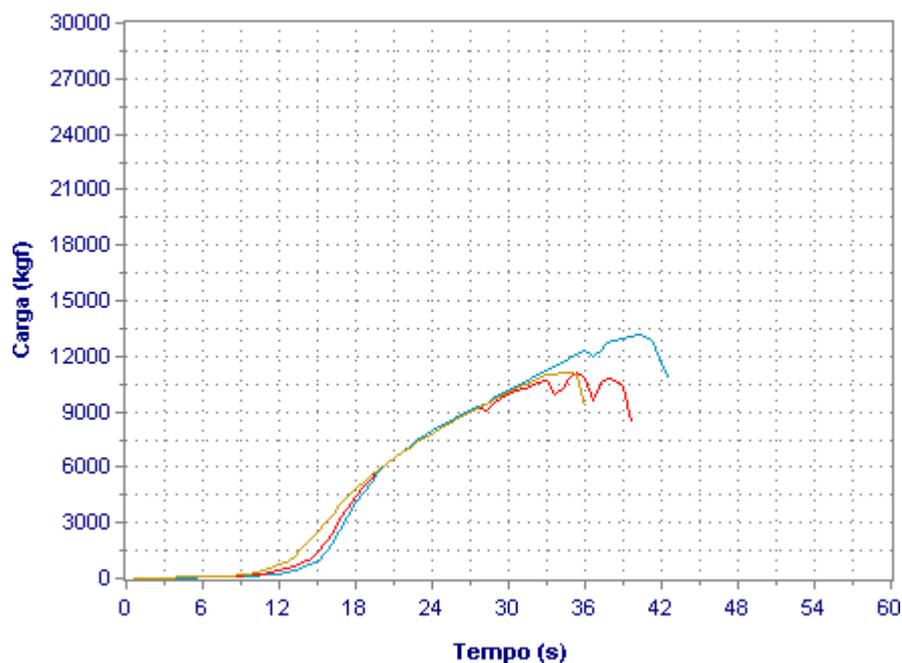
extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
04	7	16,4 (MPa)	13.130 (kgf)	
05	7	13,9 (MPa)	11.170 (kgf)	
06	7	13,9 (MPa)	11.170 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios

Carga (kgf) x Tempo (s)



## APENDICE 7 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T10 – 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: T10

Tipo de ensaio: Compressão axial

Cliente: Responsável: Ianne

Data de Moldagem: 05/10/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Distância fixação

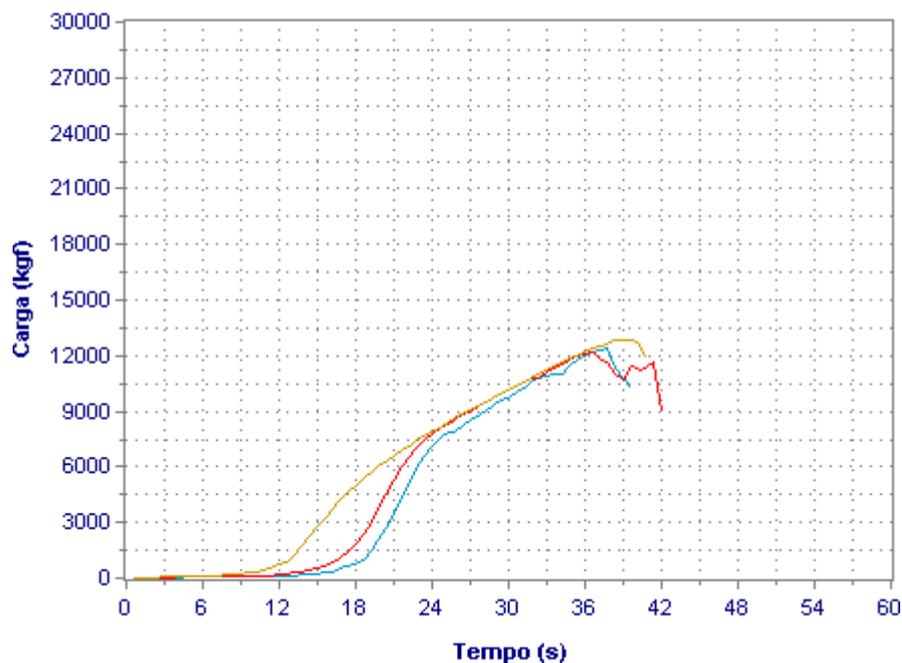
extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
04	7	15,5 (MPa)	12.420 (kgf)	
05	7	15,2 (MPa)	12.190 (kgf)	
06	7	16,1 (MPa)	12.860 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios

Carga (kgf) x Tempo (s)



## APÊNDICE 8 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO T15 – 7 DIAS



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: T15

Tipo de ensaio: Compressão axial

Cliente: Responsável: Ianne

Data de Moldagem: 05/10/2018

### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:

Distância fixação

extensômetros:

### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
04	7	15,2 (MPa)	12.180 (kgf)	
05	7	14,5 (MPa)	11.650 (kgf)	
06	7	14,9 (MPa)	11.950 (kgf)	

### Gráfico dos Ensaios

Carga (kgf) x Tempo (s)

