



LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRUNO FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA MECÂNICA EM CONCRETO
RESISTENTE A SULFATOS E COM POZOLANA.**

NATAL/RN

2019

BRUNO FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTENCIA MECÂNICA EM CONCRETO
RESISTENTE A SULFATOS E COM POZOLANA.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Tomás Barros Vasconcelos.

NATAL/RN

2019

Catalogação na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Silva, Bruno Fernandes da.

Análise comparativa de resistência mecânica em concreto resistente a sulfatos e com pozolana / Bruno Fernandes da Silva. – Natal, 2019.
74f.

Orientador: Profº. Me. Tomás Barros Vasconcelos.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Engenharia civil – Monografia. 2. Resistência – Monografia. 3. Traço – Monografia. 4. Compressão – Monografia. 5. Sulfatos – Monografia. 6. Pozolana – Monografia. I. Vasconcelos, Tomás Barros. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

BRUNO FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTENCIA MECÂNICA EM CONCRETO
RESISTENTE A SULFATOS E COM POZOLANA.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Tomás Barros Vasconcelos
Orientador

Prof. Msc. Leavlam Rodrigues de Lima
Avaliador Interno

Prof. Msc. Lucy Kheyler Maciel de Mendonça
Avaliador externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao senhor Deus pela grande oportunidade que está me proporcionando nesse momento, essa incrível conquista que a ele serei eternamente grato.

À minha família, sobretudo à minha mãe, Maria do Carmo, a qual sempre acreditou em mim. Ao meu pai, Juscelino, que nunca mediu esforços para que conseguisse cursar uma faculdade, e aos meus dois irmãos José e Vitória, que são minha base e sempre estiveram comigo nos momentos mais difíceis de minha vida, sempre me incentivando e me dando força, quando eu mais precisei nessa longa caminhada, sem eles ao meu lado essa conquista não seria possível.

Aos professores meu eterno muito obrigado pelos ensinamentos que levarei para minha vida pessoal e profissional.

Agradeço em especial ao meu orientador Tomás Barros Vasconcelos, que me ajudou bastante em todas as fases do projeto, sempre de maneira correta e prestativa, que com seus ensinamentos me fez evoluir de maneira grandiosa no decorrer de todo o processo de criação desse trabalho.

“A alegria está na luta, na tentativa,
no sofrimento envolvido e não na
vitória propriamente dita.”

Mahatma Gandhi.

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais importantes na construção civil, é um dos insumos mais utilizados nas diversas aplicações da engenharia civil, seja ela de pequeno, médio ou grande porte. É um material compósito, composto por: areia, brita, água potável e cimento Portland. A principal função de uma boa estrutura de concreto é proporcionar conforto, segurança e durabilidade. A durabilidade é a vida útil de uma edificação ou de uma estrutura, ela é definida como o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo. Natal, como uma das grandes cidades litorâneas brasileiras, tem grande incidência de patologias em estruturas, e sofre constantemente com estruturas deterioradas por agentes agressivos seja por corrosão das armaduras por maresia nas áreas mais próximas da praia ou pelos inúmeros casos de deterioração por ataque de sulfatos. Patologias são doenças que podem ser causadas por falha humana, uso de materiais de baixa qualidade ou por ação de agentes agressivos, que são agentes químicos que estão presentes no meio onde a estrutura está exposta. Para prolongar a vida útil e restringir o surgimento de patologias de uma estrutura de concreto, são usadas várias soluções, como uso de cimentos especiais, uso de aditivos, e um dos aspectos mais importantes é a cura e hidratação adequada do mesmo no período definido de 28 dias para evitar o surgimento de trincas e fissuras. Além disso, no caso da cidade de Natal em particular, é comumente feito uso de dois (2) tipos de cimento, o CII-32 RS para o combate e restrição ao ataque por sulfatos e CII-32 Z com adição de pozolana que diminui a permeabilidade. Este trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento mecânico de quatro tipos de concreto, produzidos com cimento CII-32 RS e CII-32 Z, com 4 traços divididos em 4 categorias de agressividade ambiental, 4 resistências esperadas diferentes, sendo realizados ensaios de trabalhabilidade, absorção, resistência à compressão e análise de fraturas a fim de conhecer melhor as suas características, propriedades, obtendo resultados e comparando-os entre si para que se possa definir qual é o tipo de cimento mais eficiente na restrição ao ataque por agentes agressivos.

Palavra-chave: Durabilidade; Patologias; Agentes Agressivos; Sulfatos; Pozolana.

ABSTRACT

Concrete is the most important material in construction. It is the most used input in most types of work, be it small, medium or large. It is a composite material, composed of sand, gravel, drinking water and Portland cement. The main function of a good concrete structure is to provide comfort, safety and durability; durability is the lifespan of a building or structure, it is defined as the effective period of time during which a structure or any of its components meets the project performance requirements without unforeseen maintenance or repair. Natal, as one of the great coastal cities of Brazil, has a great incidence of pathologies in structures, diseases that diminish its useful life, and it suffers constantly with structures deteriorated by aggressive agents or by corrosion of the reinforcement by sea air in the areas near the beach or by the numerous cases of deterioration due to sulphate attack. In order to prolong the useful life and restrict the appearance of pathologies of a concrete structure, several solutions are used, such as the use of special cements, the use of additives, and one of the most important aspects is the proper cure and hydration of the same in the defined period of 28 days. In addition, in the case of the hometown in particular, two types of cement are commonly used, the CII-RS for the combat and restriction to the attack by sulfates and CII-Z with addition of pozzolan that decreases the permeability. This work aims to study the mechanical behavior of two types of concrete produced with cement CII-Z and CII-RS, with four traces divided into four different expected resistances, were carried out tests of plasticity, absorption, compressive strength and analysis of fractures in order to know better their characteristics and properties, obtaining results and comparing them with each other so that one can define which cement is more efficient.

Keywords: Durability; Pathologies; Aggressive Agents; Sulphates; Pozzolana.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA: 1. Betoneira de pequeno porte	20
FIGURA: 2. Ensaio de abatimento de tronco de cone.....	20
FIGURA: 3. Molde para corpo de prova / Corpo de prova	22
FIGURA: 4. Corpo sendo pesado.....	22
FIGURA: 5. CPS em tanque para cura de 28 dias	23
FIGURA: 6. Prensa hidráulica	23
FIGURA: 7. Ensaio de compressão	24
FIGURA: 8. Tipos de fraturas anexo a NBR 5739.....	24
FIGURA: 9. Corpo de prova fissurado.....	25
FIGURA: 10. Seção polida de um corpo de prova de concreto.....	28
FIGURA: 11. Cimento	29
FIGURA: 12. Cimento CII-32 RS	34
FIGURA: 13. Cimento CII-32 Z	35
FIGURA: 14. Brita 19 mm.....	38
FIGURA: 15. Areia média.....	39
FIGURA: 16. Corpos de prova em cura submersa.....	46
FIGURA: 17. Ensaio de abatimento com tronco de cone	48
FIGURA: 18. Ensaio de compressão axial.	50
FIGURA: 19. Fratura predominante nos cps do traço 1 tipo "B"	65
FIGURA: 20. Fratura predominante nos cps do traço 2 tipo "C"	65
FIGURA: 21. Fratura predominante nos cps do traço 3 tipo "E"	66
FIGURA: 22. Fratura predominante nos cps do traço 4 tipo "E"	66

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. Gráfico de % absorção CPII- 32 RS de 20 MPa	53
GRÁFICO 2. Gráfico de % absorção CPII- 32 RS de 25 MPa	54
GRÁFICO 3. Gráfico de % absorção CPII- 32 Z de 30 MPa	55
GRÁFICO 4. Gráfico de % absorção CPII- 32 Z de 40 MPa	56
GRÁFICO 5. Resistência traço 1 para 20 MPa	57
GRÁFICO 6. Resistência traço 2 para 25 MPa	58
GRÁFICO 7. Resistência traço 3 para 30 MPa	59
GRÁFICO 8. Resistência traço 4 para 40 MPa	61
GRÁFICO 9. Média de absorção dos 4 traços	62
GRÁFICO 10. Desvios padrão de absorção para os 4 traços	62
GRÁFICO 11. Média de resistência para os 4 traços.....	63
GRÁFICO 12. Desvio padrão de resistência para os 4 traços	63
GRÁFICO 13. Porcentagem de êxito resistência esperada para cada traço	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. classes de agressividade ambiental -CAA.	18
Tabela 2. Traços de concreto utilizados.	19
Tabela 3.. Procedimentos a serem realizados no estudo.....	19
Tabela 4. Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento.	48
Tabela 5. Resultado dos abatimentos dos corpos de prova.....	51
Tabela 6. % Absorção para CII-32 RS de 20 MPa.....	52
Tabela 7. Média e desvio padrão de absorção para traço 1 de 20 MPa.	53
Tabela 8. % Absorção para CII-32 RS de 25 MPa.....	54
Tabela 9. Média e desvio padrão da absorção para traço 2 de 25 MPa.	54
Tabela 10. % Absorção para CII-32 Z de 30 MPa.	55
Tabela 11. Média e desvio padrão da absorção para traço 3 de 30 MPa.	55
Tabela 12. % Absorção para CII-32 Z de 40 MPa.	56
Tabela 13. Média e desvio padrão da absorção para traço 4 de 40 MPa.	56
Tabela 14. Resistência CII-32 RS de 20 MPa.....	57
Tabela 15. Média e desvio padrão de resistência para traço 1 de 20 MPa.....	58
Tabela 16. Resistência CII-32 RS de 25 MPa.....	58
Tabela 17. Média e desvio padrão de resistência para traço 2 de 25 MPa.....	59
Tabela 18. Resistência CII-32 Z de 30 MPa.	59
Tabela 19. Média e desvio padrão de resistência para traço 3 de 30 MPa.....	60
Tabela 20. Resistência CII-32 Z de 40 MPa.	60
Tabela 21. Média e desvio padrão de resistência para traço 4 de 40 MPa.....	61
Tabela 22. Média de absorção e desvio padrão para absorção.....	61
Tabela 23. Médias e desvios padrão de resistências para os 4 traços.	63
Tabela 24. Tipos e porcentagens de fissuras para os 4 traços.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Corpo de prova
CPII-32 RS	Cimento do tipo 2 resistente a sulfatos
CPII-32 Z	Cimento do tipo 2 com pozolana
Tf	Tonelada força
CAA	Classe de agressividade ambiental
MPa	Mega pascal
CM	Centímetro
MM	Milímetro
FCK	Resistência característica à compressão do concreto
FCK, EST	Resistência característica à compressão do concreto de projeto
a/c	Fator água cimento
CaO	Cal
SiO₂	Dióxido de silício
Al₂O₃	Óxido de alumínio
Fe₂O₃	Óxido de ferro
CO₂	Dióxido de carbono
C₃A	Componente do cimento
C₃S	Componente do cimento
C₂S	Componente do cimento
UNI-RN	Centro Universitário Do Rio Grande Do Norte
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 RELEVÂNCIA TEMÁTICA	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 METODOLOGIA	17
1.4.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA	17
1.4.2 ENSAIOS	17
1.4.2.1 SLUMP TEST	17
1.4.2.2 ABSORÇÃO	17
1.4.2.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL	18
1.4.2.3 ANÁLISE DAS FRATURAS	18
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
3.1 O CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
3.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	27
3.2.1 CIMENTO.....	29
3.2.2 AGREGADOS	36
3.2.3 ÁGUA	40
3.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	40
3.4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	42
3.4.2 TRABALHABILIDADE	44
3.5 CURA DO CONCRETO	45
3.6 ENSAIOS	46
3.6.1 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO CONE	47
3.6.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO	49

3.6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	50
4 RESULTADOS	51
4.1. ENSAIO DE ABATIMENTO	51
4.2 RESULTADO DOS ENSAIOS DE % DE ABSORÇÃO	52
4.2.1 CP11-32 RS DE 20 MPA	52
4.2.2 CP11-32 RS DE 25 MPA	53
4.2.3 CP11-32 Z DE 30 MPA	54
4.2.4 CP11-32 Z DE 40 MPA	56
4.3 RESULTADO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL.....	57
4.3.1 CP11-32 RS DE 20 MPA	57
4.3.2 CP11-32 RS DE 25 MPA	58
4.3.3 CP11-32 Z DE 30 MPA	59
4.3.4 CP11-32 Z DE 40 MPA	60
5 ESTUDOS COMPARATIVOS	61
5.1 ABSORÇÃO	61
5.2 RESISTÊNCIA.....	62
6 RESULTA DA ANÁLISE DA FRATURA.....	64
6.1 FRATURAS PARA TRAÇO 1 DE 20 MPA.....	65
6.2 FRATURAS PARA TRAÇO 2 DE 25 MPA.....	65
6.3 FRATURAS PARA TRAÇO 3 DE 30 MPA.....	65
6.4 FRATURAS PARA TRAÇO 4 DE 40 MPA.....	66
7 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA TEMÁTICA

O concreto produzido com cimento Portland é um material de grande uso na construção civil devido, sobretudo, à sua abundância de matéria prima constituinte no mercado - a qual pode ser encontrada em qualquer região – e, também, por sua alta resistência a esforços de compressão, bem como sua alta durabilidade, sendo uma ótima matéria-prima para a construção de pilares, vigas e fundações e qualquer outra aplicação na construção civil em geral.

É procedente enfatizar que tal insumo é um material poroso, sua composição macroestrutural é de grande complexidade e heterogeneidade sendo constituída, basicamente, de agregado graúdo e miúdo e da pasta de cimento em si. Essa microestrutura pode ser visualizada de maneira correta apenas com auxílio de um microscópio no qual pode se ver e identificar cada partícula constituinte, tal qual evidenciada por MONTEIRO (2008):

Com a evolução tecnológica o nível de exigência nas mais variadas áreas da engenharia civil aumenta e também as exigências quanto ao desempenho do concreto utilizado nas diversas atividades que compõem o mercado da construção civil. A necessidade de um concreto cada vez mais resistente aos esforços mecânicos e as intempéries teve como consequência a realização de estudos a fim de diminuir certas deficiências das misturas dos concretos convencionais de cimento Portland (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Sendo assim, o trabalho apresenta um comparativo da resistência do concreto curado a 28 dias completos à temperatura ambiente com diferentes traços e classes de agressividade, para fim de conhecimento e aprimoramento futuro desse material.

1.2 JUSTIFICATIVA

A durabilidade e a vida útil de uma edificação ou de uma estrutura são de suma importância, principalmente em estruturas em concreto convencional ou em concreto armado. Entende-se por vida útil “o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo”. Durabilidade das estruturas de concreto depende de diferentes fatores ligados à fase de projeto, produção e caracterização dos insumos, preparação do concreto, execução da estrutura e manutenções preventiva e corretiva.

Inúmeras obras de edificações e de infraestrutura em concreto armado ou protendido são executadas em ambientes expostos a agentes agressivos, por isso, precisam dos devidos cuidados necessários em suas fases iniciais de projeto, construção e operação para que atendam às exigências de desempenho e durabilidade preteridas. O concreto deve ser alvo de alguns cuidados especiais na fase de análises dos materiais que serão utilizados na sua formulação, ajustes de dosagem, materiais para minimizar a retração e preocupações quanto ao calor de hidratação são indispensáveis. A análise do ambiente em que a estrutura estará influi diretamente nas especificações do concreto e das proteções para alcançar a durabilidade pretendida.

Chamamos de patologia uma doença estrutural, ou seja, defeitos apresentados num empreendimento. Suas características são apresentadas em forma de trincas, fissuras, carbonatação, corrosão, descolamentos de revestimentos e deformações que podem ser originadas por falha humana em alguma etapa na execução do projeto, erros de projeto, como também pelo ataque de agentes agressivos que estão contidos no meio onde a estrutura está exposta. Tendo em vista os conhecimentos sobre as classes de agressividades ambientais propostas pela NBR 6118, podemos constatar que, Natal como é uma cidade litorânea, sendo assim, suas edificações estão expostas a classes de agressividade ambiental (CAA), que variam entre 2 e 3, proporcionando diversas patologias, sendo umas das principais a deterioração por ataque de sulfatos.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a influência da variação de traços, e do Coeficiente de Agressividade Ambiental (CAA), utilizando um cimento do tipo CPII, resistente à sulfatos e outro cimento CPII com adição de pozolana, para efetuar ensaios de compressão, trabalhabilidade, absorção e análise de fissuras, usando corpos de provas cilíndricos.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Analisar o comportamento mecânico sob efeito de plasticidade e trabalhabilidade;
- ❖ Analisar a influência da absorção e quantidade de vazios causadas pela variação do traço nas propriedades mecânicas do concreto;

- ❖ Analisar o comportamento mecânico sob ensaio de compressão axial em corpos de prova cilíndricos;
- ❖ Analisar e classificar a característica da fratura mecânica para todas as condições de estudo propostas;
- ❖ Analisar os resultados e dados de todos ensaios e fazer comparações e distinções para todas as condições propostas.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho teve seu desenvolvimento baseado em revisões bibliográficas, relacionando o tema de microestrutura e composição do concreto, os métodos de ensaios para diagnóstico e o estudo dos ensaios realizados no Centro Universitário do Rio Grande do Norte, com suas respectivas análises.

1.4.2 ENSAIOS

Foram realizados ensaios em laboratório no UNI-RN de trabalhabilidade, absorção, resistência a compressão axial e análise das fraturas em corpos de prova com dimensões de 10 cm x 20 cm produzidos com areia grossa, brita de 19 mm do tipo 1, a partir de 4 traços, 4 tipos de agressividades e 2 tipos de cimento diferentes, com o intuito de analisar seus características.

1.4.2.1 SLUMP TEST

O ensaio de abatimento de tronco de cone, mas popularmente conhecido como slump é usado para determinação “in loco”, ou seja, na obra de forma não destrutiva, é realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e fluidez do material e avaliar se está adequado para o uso a que se destina. Sua trabalhabilidade é medida em milímetros (mm) com o auxílio de uma trena e por norma se classifica em 6 tipos diferentes.

1.4.2.2 ABSORÇÃO

O ensaio de absorção é usado para determinar a porcentagem (%) de absorção, levando em consideração o peso após 24 horas de vida chamado de peso seco dos cps, e após 28 dias totais de cura, conhecido como peso saturado para todos os corpos de prova.

1.4.2.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de compressão axial é feito em corpos de prova de formas cilíndricas que terão dimensões de 10 cm por 20 cm, ao total serão 48 cps sendo divididos em 4 traços e 4 resistências diferentes, utilizando nos traços 1 e 2 cimentos do tipo CII- 32 RS e nos traços 3 e 4 cimentos CII-32 Z, usando prensa hidráulica para ensaios de resistência a compressão, que exercera esforços de compressão no cp na posição vertical a máquina.

1.4.2.3 ANÁLISE DAS FRATURAS

A análise das fraturas é feita em laboratório posteriormente ao ensaio de resistência a compressão axial, onde são observados os tipos de fraturas existentes nos corpos de prova, onde com auxílio da tabela da norma NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos é possível classificar as fraturas que vão do tipo A ao G, após isso é feito comparações entre os traços e suas fraturas e identificado tipo de fratura predominante.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram definidos em início de estudo 4 traços sendo 2 feitos com cimento do tipo CII-32 RS de 20 e 25 MPa e 2 feitos com cimento CII-32 Z para 30 e 40 MPa e 4 classes de agressividades ambientais a serem abrangidas seguindo a NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto, conforme mostra a tabela 1 e 2.

Tabela 1. classes de agressividade ambiental -CAA.

CAA	Agressividade	Tipo de ambiente	Risco de deterioração
I	Fraca	Rural / submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha / Industrial	Grande
IV	Muito forte	Industrial /Respingo de maré	Elevado

FONTE: NBR 6118.

Tabela 2. Traços de concreto utilizados.

CAA	Resistência (MPa)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (l)
I	20	1	3,01	3,19	0,65
II	25	1	2,90	3,29	0,60
III	30	1	1,92	2,15	0,50
IV	40	1	1,61	1,93	0,45

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

A tabela 3 a seguir mostra todas as etapas de ensaios que serão realizadas em todo o processo de estudo, desde a definição dos traços e escolha do tipo de cimento a ser usado até os ensaios e análise de resultados.

Tabela 3.. Procedimentos a serem realizados no estudo.

Tipo	Resistência	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Análise
CPII-32 RS	20 MPa	Trabalhabilidade	Absorção	Resistência	Fraturas
CPII-32 RS	25 MPa	-	-	-	-
CPII- 32 Z	30 MPa	-	-	-	-
CPII-32 Z	40 MPa	-	-	-	-

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

A partir da definição dos traços e definição dos tipos de agregado miúdo, graúdo e água de amassamento que serão usados para produção do concreto como também os dois tipos de cimento que serão usados, com auxílio de uma betoneira elétrica de pequeno porte o concreto foi produzido como mostra a figura 1.

FIGURA: 1. Betoneira de pequeno porte.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Logo após feito o concreto, é realizado o primeiro ensaio preliminar, o ensaio de abatimento do tronco do cone, mais conhecido popularmente como slump-test. Seguindo as normas da NBR NM 67 de 1998, este ensaio é responsável por verificar a trabalhabilidade do concreto e sua unidade de medida é o milímetro (mm), como mostra na figura 2.

FIGURA: 2. Ensaio de abatimento de tronco de cone.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Procedimento:

Umedecer o molde juntamente com a placa de base, e colocar o molde sobre a placa de base. Durante o preenchimento do molde com o concreto de ensaio, o operador deve se posicionar com os pés sobre suas aletas, de forma a mantê-lo estável. Encher rapidamente o molde com o concreto coletado conforme, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado.

Compactar cada camada com 25 golpes da haste de socamento. Distribuir uniformemente os golpes sobre a seção de cada camada. Para a

compactação da camada inferior, é necessário inclinar levemente a haste e efetuar cerca de metade dos golpes em forma de espiral até o centro. Compactar a camada inferior em toda a sua espessura. Compactar a segunda camada e a camada superior, cada uma através de toda sua espessura e de forma que os golpes apenas penetrem na camada anterior.

No preenchimento e na compactação da camada superior, acumular o concreto sobre o molde, antes de iniciar o adensamento. Se, durante a operação de compactação, a superfície do concreto ficar abaixo do bordado molde, adicionar mais concreto para manter um excesso sobre a superfície do molde durante toda a operação da camada superior, rasar a superfície do concreto com uma desempenadeira, e com movimentos rolantes da haste de compactação. Limpar a placa de base e retirar o molde do concreto, levantando-o cuidadosamente na direção vertical.

A operação de retirar o molde deve ser realizada em 5 segundos a 10 segundos, com um movimento constante para cima, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral. Imediatamente após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, que corresponde à altura média do corpo-de-prova desmoldado, aproximando aos 5 mm mais próximos.

Foram produzidos 48 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm x 20 cm como mostra a figura 3. Seguindo a norma NBR 5739: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova de 2015, sendo 12 corpos de prova para resistência de 20 MPa com agressividade ambiental do tipo I-Fraca, 12 para resistência de 25 MPa com agressividade ambiental do tipo II-moderada usando para ambos os casos cimento do tipo CP II- 32 RS.

Em contrapartida foram produzidos mais 12 cps para resistência de 30 MPa com agressividade ambiental do tipo III-Forte e 12 cps para resistência de 40 MPa com agressividade do tipo IV-Muito forte, usando nos dois casos o cimento do tipo CP II-32 Z, tanto o agregado gráudo, como o miúdo e a água de amassamento são os mesmos nos 4 tipos de resistências, sendo brita 19 mm, areia grossa e água convencional fornecida pela rede de distribuição pública.

Os traços 1,3 e 4 foram adensados de maneira mecanizada com uso de vibrador elétrico, proporcionando menor índice de vazios, e com isso menor absorção, já o traço 2 foi adensado de maneira manual, com auxílio de um soquete de metal, dividindo o conteúdo do molde em 3 partes, recebendo cada parte 25 golpes de soquete para adensamento.

FIGURA: 3. Molde para corpo de prova / Corpo de prova.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Logo após produzidos os 48 corpos de prova, é esperado 24 horas para ser feita a retirada dos cps dos moldes. Eles são pesados para se obter o peso seco como mostra a figura 4.

FIGURA: 4. Corpo sendo pesado.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Em seguida, todos os corpos de prova já pesados são levados para um tanque com água onde serão deixados para tempo de cura por 28 dias em cura submersa, seguindo a NBR 5738. Conforme a figura 5.

FIGURA: 5. Cps em tanque para cura de 28 dias.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Esperados os 28 dias para cura de todos os cps, é feita a pesagem novamente. Desta vez para que possamos obter os valores de peso saturado, para no final ser feito o cálculo de absorção de cada corpo de prova segundo a NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Foram realizados, ao longo do estudo testes de Resistência a compressão axial, utilizando prensa hidráulica tipo solotest 100 tf, como mostra na figura 6.

FIGURA: 6. Prensa hidráulica.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

O ensaio de compressão axial é feito em todos os corpos de prova tendo como base a Norma NBR 5739: Concreto - Ensaaios de compressão de corpos-de-prova cilíndrico, a máquina por sua vez nos entrega os valores de resistência na unidade de tonelada força (Tf), que posteriormente deve ser transformada pra Mpa, que é a unidade usada geralmente quando se fala em qualquer tipo de concreto. A figura 7 mostra o ensaio de compressão feito em laboratório.

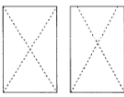
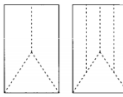
FIGURA: 7. Ensaio de compressão.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Feitos todos os ensaios de compressão axial para determinação de resistência, chegou a hora do último e não menos importante procedimento, que é a análise da fratura gerada pelo ensaio de compressão para cada um dos corpos de prova, orientado pela NBR 5739, onde a norma nos mostra os 7 tipos de fraturas que pode ocorrer em corpos de prova cilíndricos, a figura 8 ilustra os 7 tipos.

FIGURA: 8. Tipos de fraturas anexo NBR 5739.

A	B	C	D	E	F	G
						
Cônica e cônica afastada 25mm do capeamento	Cônica e bipartida e cônica com mais de uma partição	Colunar com formação de cones	Cônica e cisalhada	Cisalhada	Fraturas no topo e ou na base, abaixo do capeamento	Fraturas próximas ao topo ou na base

FONTE: NBR 5739.

As fraturas podem ser predominantes a apenas um tipo, mas em diversas vezes são encontrados 2 tipos de fraturas diferentes nos cps. Na figura 9 podemos observar as fraturas.

FIGURA: 9. Corpo de prova fissurado.



FONTE: Elaborado pelo autor 2018.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo(areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar. Pode também conter adições (cinza volante, pozolana, sílica ativa etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Ele é o material estrutural de maior uso na atualidade, não é tão resistente ou tenaz quanto o aço, mas possui excelente resistência à água. Ao contrário da madeira e do aço comum, a capacidade do concreto de resistir à ação da água, sem deterioração séria, faz dele um material ideal para estruturas destinadas a controlar, estocar e transportar água. De fato, uma das primeiras aplicações conhecidas do concreto consistiu em aquedutos e muros de contenção de água, construídos pelos romanos. (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

As razões para o uso tão difundido do concreto são: a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos; mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obra (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Para se obter um concreto resistente, durável, econômico e de bom aspecto, deve-se estudar: as propriedades de cada um dos materiais componentes; as propriedades e os fatores que podem alterá-las; o proporcionamento correto e execução cuidadosa da mistura, o concreto deve ser transportado, lançados nas fôrmas e adensado corretamente; cura cuidadosa, a hidratação do cimento continua por um tempo bastante longo e é preciso que as condições ambientes favoreçam as reações que se processam. Desse modo, deve-se evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento. É o que se denomina cura do concreto; o modo de executar o controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento (ALMEIDA, 2002).

A preparação do concreto pode ser feita manualmente ou em betoneiras no próprio canteiro de obras, recebendo assim o nome de concreto (in loco), como também pode ser preparado em centrais dosadoras, ou seja, em usinas centrais de concreto, o que faz com que o concreto receba a nomenclatura de

concreto usinado ou pré-misturado, possuindo cada uma suas vantagens e desvantagens.

No momento em que se acrescentam as ferragens passivas em uma fôrma, o concreto comum é adicionado de uma armadura de aço e passa a ser conhecido como concreto armado, que se tratando de construções prediais, é utilizado principalmente para a confecção de lajes, vigas, fundações e pilares, garantindo uma melhor sustentação tendo em vista que o concreto e a armadura trabalham juntos e solidariamente, mais cada uma com uma função diferente no tocante dimensionamento.

A estrutura de concreto possui uma vida útil na qual é capaz de desempenhar as funções para qual foi projetada, havendo diversos fatores que acabam por interferir nessa vida útil, e por isso ela deve ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo.

Embora o concreto seja um composto rígido, alguns problemas podem ser observados com a corrosão, os ninhos e as fissuras que são frequentes nas construções, podendo até levar muitas vezes a mesma a um desmoronamento. (COUTO et al., 2013). O concreto pode ser classificado conforme o modo de fabricação como fabricação no local (in loco) ou pré-misturado (usinado) (ALMEIDA, 2012).

O concreto usinado é obtido em centrais dosadoras, geralmente chamadas de “concreteiras”, que são instalações preparadas para a produção em escala, constituídas de silos armazenadores, balanças, correias transportadoras e equipamentos de controle. Na maioria dos casos, para as obras urbanas, a mistura é feita no próprio caminhão, durante o trajeto entre a central de concreto e a obra. Entretanto, nas obras de grande porte, como barragens e estradas, as centrais podem fazer a mistura e o material é transportado por guias e caçambas.

3.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

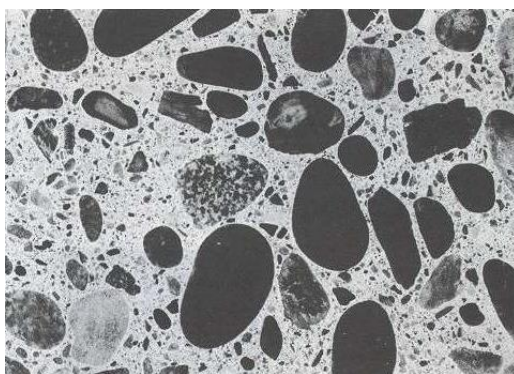
O estudo da influência dos materiais constituintes nas propriedades físicas e químicas do concreto estrutural é imprescindível para obtermos concreto resistentes e duráveis. O cimento, água e agregados devem ser analisados como elemento capaz de influenciar o desempenho do concreto devido as suas propriedades físicas, térmicas e químicas. (Neville,1997).

O Cimento Portland, caracteriza por ser o componente mais nobre do concreto, a mistura do cimento Portland com água gera uma pasta que envolve os agregados, sendo responsável pelas propriedades de ligante. Podemos encontrar diversos tipos de cimento Portland normatizado pela NBR, sendo que cada composição apresenta características específicas, a observação estas propriedades na escolha do cimento aliados as especificidades da obra favorecem a qualidade do concreto. (Neville,1997).

O agregado corresponde a três quartos do volume do concreto e sua aplicação é de natureza econômica, tendo em vista tratar-se de materiais de baixo custo unitário, comparado ao do cimento. Porém, segundo Neville (1997:125) “O lado econômico não é a única razão de seu uso, já que o agregado confere vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que passa a ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura”.

Os agregados são considerados inertes por não possuir propriedades ligantes como se pode ver na figura, porém o uso de materiais contaminados ou com características mineralógicas inadequadas podem acarretar uma série de condições desfavoráveis ao concreto estrutural, causando patologias e o colapso da estrutura. Com intuito de garantir a qualidade do concreto estrutural e obtermos economia na sua produção, devemos conheceremos melhor os seus materiais constituintes e suas influências nas propriedades do concreto fresco e endurecido. (Júnior, 2015).

FIGURA: 10. Seção polida de um corpo de prova de concreto.



FONTE: Mehta e Monteiro,1997.

O cimento Portland é um pó fino com propriedades de aglomerante hidráulico aglutinante ou ligante, que endurece sob ação da água. Uma vez endurecido, mesmo voltando à ação da água, o cimento Portland resiste sem se decompor. A variação de cimentos fabricados permite certas características e propriedades que os tornam mais adequados para serem utilizados em concreto de determinadas construções. O conhecimento das suas características e propriedades é de fundamental importância, podendo aproveitá-los da melhor forma possível dentro das condições impostas na sua obra.

3.2.1 CIMENTO

Os concretos atuais são mais do que uma simples mistura de cimento, água e agregados. Normalmente contêm adições minerais e aditivos químicos que conferem propriedades especiais, ou ainda, corrigem certas deficiências do cimento usado. O desenvolvimento de novos concretos não resulta necessariamente no aumento da disponibilidade de novos tipos de cimento, mas necessita que a qualidade deste seja reprodutível, atendendo a especificações muito mais severas. (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011).

FIGURA: 11. Cimento.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Esse novo material pode ser composto com diversos constituintes, tais como clínquer gipsita, escória de alto-forno, cinza volante, sílica ativa de ferrosilício ou silício metálico, cinza e sílica extraídas da casca de arroz, meta caulinita, terras diatomáceas, argilas calcinadas, pós de concreto reciclado, cerâmica moída, vidros, microfibras, filer calcário etc. Assim, com a utilização

de uma menor quantidade de clínquer, a indústria do cimento atinge alguns de seus objetivos dentro da perspectiva do desenvolvimento sustentável.

O clínquer Portland é obtido a partir da queima das matérias-primas (fontes de CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , entre outros) em um forno rotativo a temperaturas de até 1450°C . A principal matéria-prima natural usada para fabricação do clínquer é a rocha calcária, e o principal fator responsável pela emissão de dióxido de carbono no processo de fabricação de cimento Portland é a calcinação desse calcário, pois a cada 1.000 kg de calcita (CaCO_3) calcinada são gerados 560 kg de CaO e 440 kg de CO_2 . A reação química de calcinação é responsável por aproximadamente 52% das emissões de CO_2 no processo de fabricação do clínquer, enquanto o consumo de energia responde pelo restante. Considerando o consumo energético, tem-se que a cada 1.000 kg de clínquer fabricados gera-se em média aproximadamente 815 kg de CO_2 (WORRELL *et al.*, 2001).

Para agravar a situação, é importante destacar que o setor produtivo da construção civil é um dos principais responsáveis pelo consumo de matérias-primas naturais, chegando a consumir entre 14% e 50% do total extraído no planeta (JOHN, 2000), além de ser um dos setores que mais geram resíduo. Nesse contexto, o concreto é o material de construção mais largamente utilizado no mundo, sendo a sua produção anual estimada em mais de 20 bilhões de toneladas, o que corresponde a um consumo médio de aproximadamente 10 kg de concreto por pessoa por dia. Para atender a essa demanda, consome-se anualmente cerca de 3,4 bilhões de toneladas de cimento (USGS, 2010).

Na fabricação de cimento, além das emissões de gases do efeito estufa, o gasto energético é destacado. Ao expressar em números, o consumo global de energia para a produção de cimento situa-se entre 7 e 10 bilhões de GJ/ano, e as emissões de CO_2 correspondem a aproximadamente 6-7% da geração mundial. (MALHOTRA, 1999; MEHTA, 2002; MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Os diferentes tipos de cimento existentes não apresentam o mesmo desempenho quando se produz um concreto de alto desempenho. Alguns possuem um bom desempenho em termos de resistência mecânica, mas um inadequado comportamento reológico, o que dificulta o lançamento e o

adensamento do material; outros apresentam um ótimo comportamento reológico, porém seu desempenho mecânico deixa a desejar. (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011).

Assim, devido à grande variabilidade nas propriedades físicas e químicas do cimento, deve-se esperar que diferentes cimentos se comportem de maneiras distintas na presença de um mesmo aditivo (indispensável para a produção de misturas de alto desempenho). (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011)

As características reológicas de traços com baixa relação água/aglomerante (concretos de alto desempenho), estão relacionadas com a hidratação dos aluminatos do cimento (fase intersticial), enquanto o desenvolvimento da resistência mecânica é dependente dos silicatos hidratados formados. Sendo assim, o desempenho final do cimento na produção dessas misturas dependerá da maneira pela qual o comportamento reológico e o desenvolvimento da resistência podem ser simultaneamente otimizados

Diversos fatores influenciam a reologia de materiais à base cimento, tais como, a relação água/cimento, a composição química e o tempo de hidratação do cimento, a reatividade química do filler, a distribuição granulométrica, a massa específica, a textura superficial e a geometria das partículas, as propriedades do aditivo químico, a temperatura, e a umidade do meio onde o material é preparado e aplicado, as condições de mistura e o procedimento de ensaio adotado. Assim, existem diversos fatores a serem considerados, sendo a situação ainda mais complicada pelo fato da existência de interações físico-químicas entre eles. (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011)

No caso específico do cimento, dentre suas características físicas, a área superficial e a distribuição granulométrica são as mais importantes em termos de fluidez da mistura. Dentre os parâmetros químicos, aqueles que têm exercido maior influência sobre as propriedades das misturas são a perda ao fogo, o teor e a morfologia do C3A, o teor de álcalis e o tipo de sulfato de cálcio adicionado ao clínquer. Assim, o cimento não pode ser considerado como um material cujo comportamento pode ser previsto por uma única variável. Além disso, no caso dos concretos de alto desempenho, aerologia não é mais ditada apenas pela quantidade de água ou pela forma do agregado graúdo, mas sim

pelo que hoje é conhecido como compatibilidade entre o cimento e o aditivo usados.

O fator chave que controla o comportamento de um superplastificante é a composição do cimento (tipo de clínquer e produtos de hidratação), uma vez que o efeito positivo do aditivo só é verificado se ele melhorar as propriedades do concreto pela reação com os produtos da hidratação do cimento. Isso pode ocorrer tanto pelos efeitos de desaglomeração e dispersão das partículas de cimento quanto pela influência sobre as taxas de reação do C3A e do C3S, constituintes do cimento.

Como a reatividade dos componentes minerais do cimento com a água varia consideravelmente, é possível modificar as características de desenvolvimento da resistência de materiais contendo este ligante hidráulico pela simples alteração das proporções dos componentes do cimento. Por exemplo, no caso do cimento Portland, as resistências iniciais (aos 3, 7 e 28 dias) serão altas se o cimento contiver grandes quantidades de C3S e C3A,

enquanto essas serão baixas se o cimento for composto por uma proporção elevada de C2S. Adicionalmente, a resistência final (em idades mais avançadas) de um cimento rico em C2S deverá ser maior do que a de outro cimento com baixo teor desse componente mineral. (LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011)

Além da composição do cimento, as taxas de desenvolvimento de resistência podem ser prontamente controladas por meio da adequação da granulometria (área superficial) desse material. Para uma determinada relação água/cimento, a redução do tamanho médio das partículas geralmente resulta em uma maior taxa de hidratação e, assim, em melhores propriedades e maiores resistências nas primeiras idades. Porém, do ponto de vista da durabilidade, cimentos com área superficial superior nem sempre são preferidos; em concretos de alto desempenho, cimentos com granulometria mais grossa podem oferecer desempenho equivalente aos cimentos mais finos a longo prazo, resultando em economia de energia e recursos devido à redução do tempo de moagem.

As propriedades de um material à base de cimento estão relacionadas com sua porosidade, a qual depende da densidade de empacotamento das partículas e do grau de hidratação do cimento, porém as influências de ambos

os parâmetros são opostas: para uma distribuição granulométrica mais aberta, a densidade de empacotamento é maior, enquanto o grau de hidratação é menor; para uma distribuição granulométrica mais estreita, a densidade de empacotamento é menor, mas o grau de hidratação é maior, desde que o tamanho das partículas do cimento seja pequeno. (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011)

Assim, as duas situações devem ser consideradas simultaneamente a fim de se obter a menor porosidade possível: nas primeiras idades, o efeito do empacotamento sobre a porosidade é principal, enquanto o efeito do grau de hidratação é secundário; em idades mais avançadas, os efeitos de ambos os fatores influenciam a porosidade em uma mesma extensão. No período de cura, o processo de hidratação resulta na redução e na redistribuição do sistema de poros ativos determinados pela relação água/cimento da mistura; assim, a forma e o tamanho desses poros são influenciados pela entrada e saída de umidade no interior do concreto. (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011).

A porosidade ativa, consistindo de capilares e poros de gel, pode ser descrita como canais longos e contínuos quando comparada com a forma (aproximadamente) circular e natureza discreta dos poros inativos (originados pela incorporação ou aprisionamento de ar na mistura). A resistência mecânica e o módulo de elasticidade são reduzidos proporcionalmente com o volume de poros inativos e são influenciados pelo volume de poros ativos e pela umidade dentro deles. (CASTRO; LIBORIO; PANDOLFELLI, 2011).

3.2.1.1 CIMENTO CII- 32 RS

Os cimentos Portland, resistentes aos sulfatos (figura 12), são aqueles — como o próprio nome diz — que têm a propriedade de oferecer resistência aos meios agressivos sulfatados, tais como, os encontrados nas redes de esgotos de água servidas ou industriais, na água do mar e em alguns tipos de solos. De acordo com a norma NBR 16697, quaisquer um dos cinco tipos básicos (CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI), podem ser considerados resistentes aos sulfatos, desde que obedeçam a pelo menos uma das seguintes condições:

- Teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de, no máximo, 8% e 5% em massa, respectivamente. Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa.
- Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa.
- Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

No primeiro e no último caso o cimento deve atender ainda a norma NBR 16697, admite-se a adição de escória granulada de alto-forno ou de materiais pozolânicos, para os fins específicos da NBR 16697.

FIGURA: 12. Cimento CP II-32 RS.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

3.2.1.1.1 CIMENTO CP II-32 Z

O CP II-Z (figura 13), é um cimento que geralmente é utilizado em obras marítimas, industriais e subterrâneas por conter de 6% a 14% de pozolana. Garantindo uma maior impermeabilidade e durabilidade ao concreto produzido com este tipo de cimento, é constituído de clínquer Portland, gipsita (alguns porcentos) e cerca de 10 a 40% de Pozolana. As pozolanas são materiais naturais ou artificiais finamente divididos, que em contato com hidróxido de cálcio, na presença de umidade, formam compostos aglomerantes, visto que a pozolana por si só não constitui material aglomerante. Estes compostos são análogos aos do cimento Portland.

As pozolanas naturais mais importantes são as cinzas vulcânicas, não encontradas no Brasil. As principais pozolanas artificiais são as cinzas volantes resultantes da combustão de carvão mineral em usinas termelétricas ou argilas ou folhelhos argilosos ativados por calcinação entre 700°C e 900°C. Os dois tipos são utilizados no Brasil.

FIGURA: 13. Cimento CII-32 Z.



FONTE: Elaborada pelo autor.

O cimento pozolânico, devido a reação pozolana com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do C2S e C3S, apresenta uma resistência química maior, pois o hidróxido de cálcio facilmente solúvel encontra-se combinado na forma de silicato de cálcio de difícil solubilização.

O desenvolvimento da resistência nas primeiras idades é menor do que no cimento Portland comum, mas a resistência final pode ser maior que a do cimento sem adições. Em consequência dessa reação mais lenta do cimento pozolânico o seu calor de hidratação é menor, como também a temperatura máxima atingida e, também liberado mais lentamente, tornando este cimento muito adequado para a construção de estruturas maciças de concreto, tipo o empregado na construção de barragens, onde a resistência química e o baixo calor de hidratação são muito importantes.

No caso de existirem agregados capazes de reagir com os álcalis do cimento, na execução de um concreto com tais agregados também pode ser empregado um cimento pozolânico, pois a pozolana irá reagir rapidamente com os álcalis do concreto, impedindo a sua reação com o agregado, cujas consequências são deletérias para o cimento.

Portanto, as principais vantagens no emprego das pozolanas na fabricação do cimento pozolânico são:

- a) Economia no custo do cimento;
- b) Maior trabalhabilidade;
- c) Menor calor de hidratação;
- d) Menor permeabilidade e menor segregação do agregado;
- e) Maior estabilidade de volume;
- f) Maior estabilidade de volume.

Todas essas propriedades vantajosas do cimento pozolânico só existem se o material misturado com o clínquer realmente apresentar atividade pozolânica, isto é, a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio na presença de umidade. Esse fato pode ser facilmente verificado realizando-se o ensaio Fratini já normatizado. NBR 5753 de 2016.

3.2.2 AGREGADOS

Considerando que grande parte do volume de concreto é ocupado pelos agregados, é de se considerar que suas propriedades físicas e químicas vão interferir significativamente nas propriedades do concreto. Antes tido como um material inerte, o agregado passou a ser visto não só como um componente do concreto, mas sim um elemento capaz de influenciar o desempenho do concreto. Assim, quando esta influência passou a ser conhecida cuidou-se melhor da seleção dos agregados, sempre levando em consideração o ambiente de inserção da estrutura de concreto que estará sendo produzida (NETO 2005).

De inerte então, o agregado passou a assumir importância econômica, devido ao custo menor e alcançou a excelência ao atribuir vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que passou a ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura (NEVILLE-1997).

Problemas técnicos e econômicos decorrentes da seleção inadequada dos agregados demonstraram a necessidade de uma melhor compreensão do papel dos agregados na resistência mecânica, na durabilidade e também na estabilidade dimensional do concreto. Verificou-se também, que, muitas propriedades do concreto são influenciadas pelas características dos agregados, tais como, porosidade, composição granulométrica, absorção d'água, estabilidade, forma e textura superficial dos grãos, resistência

mecânica, módulo de deformação e substâncias deletérias presentes. (NEVILLE-1997).

As características físicas como, tamanho, forma, textura e granulometria, que também estão associadas à modificação do valor da relação água/cimento (a/c), afetam o comportamento elástico e mecânico do concreto. Segundo NUNES (2005), a resistência do agregado normalmente não é um fator determinante da resistência do concreto convencional, porque, a exceção dos concretos leves e de alta resistência, os agregados são bem mais resistentes que a matriz e a zona de transição do concreto.

3.2.2.1 AGREGADO GRAÚDO

A forma do agregado se refere à sua geometria tridimensional. NEVILLE (1997) revela que como é difícil representar corpos tridimensionalmente irregulares, é mais conveniente definir certas características geométricas desses corpos, tais como alongamento, achatamento, cubicidade e esfericidade.

A textura superficial do agregado tem influência sobre sua aderência com a pasta de cimento. Tanto a forma quanto a textura do agregado exercem forte influência sobre a resistência a compressão do concreto, principalmente nas primeiras idades. Segundo NEVILLE (1997), o efeito da forma e da textura é mais significativo em concretos de alta resistência. Ao mantermos a mesma mineralogia do agregado, os concretos com agregado de superfície mais rugosa, tendem a apresentar maior resistência que os concretos com agregado de superfície mais lisa.

O aumento da dimensão máxima do agregado, para uma mesma mineralogia, pode ter dois efeitos opostos sobre a resistência do concreto. Utilizando o mesmo teor de cimento e mesma consistência do concreto, as misturas do concreto com agregados maiores requerem menos água de amassamento do que aquelas que contêm agregados menores. (NUNES 2005). Por outro lado, agregados maiores apresentam área superficial proporcionalmente menor o que por sua vez geram maiores tensões na zona de transição pasta-agregado. Por isso, concretos fabricados com agregados maiores, tendem a apresentar zonas de transição mais fracas, com mais microfissuras e, portanto, menor resistência.

FIGURA: 14. Brita 19 mm.



FONTE: Elaborada pelo autor.

Segundo EVANGELISTA (2002), mantendo-se a mesma proporção volumétrica dos agregados graúdos e água, o mesmo tipo de cimento e o mesmo abatimento de tronco de cone, utilizando-se agregados britados de gnaiss com dimensões máximas de 19 mm e 9,5 mm, observou-se que não houve influência significativa das dimensões máximas do agregado usado na resistência à compressão dos concretos. Apenas nas situações onde o concreto apresentava menor valor a/c é que se observaram maiores diferenças na resistência do concreto

A mudança na granulometria do agregado poderá influenciar a resistência à compressão se houver uma alteração na consistência da mistura, desde que se mantenha a mesma relação água cimento. Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), agregados que não tem uma grande deficiência ou excesso de qualquer tamanho de partícula, em especial, produzem misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas. Partículas maiores tendem a produzir mais microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento. NEVILLE (1997), enfatiza que, além dos requisitos físicos, não se deve esquecer o aspecto econômico, ou seja, o concreto deve ser produzido com materiais que possam ser produzidos com baixo custo.

Neville indica que os principais fatores que determinam a viabilidade econômica do agregado são: sua área superficial, visto que influencia a quantidade de água necessária para molhagem completa dos sólidos, o volume relativo ocupado pelo agregado, a trabalhabilidade da mistura, e a tendência de segregação.

Estudos da influência do teor de agregado sobre a resistência do concreto com uma dada qualidade de pasta de cimento mostram que, quando o volume de agregado, como fração do volume total, aumenta de 0 a 20 %, nota-se um decréscimo gradual da resistência à compressão; porém entre 40 e 80 % esta resistência aumenta (figura 2.9). A razão para este fato, segundo NEVILLE (1997), não está bem esclarecida, mas observa-se a mesma tendência com vários valores da relação água/cimento.

3.2.2.2 AGREGADO MIÚDO

Areia e pedra são frequentemente utilizadas na construção civil para a preparação de concreto ou acabamentos. Qualquer material de pequena granulometria, ou seja, até cinco milímetros de tamanho são chamados de areia. Acima dessa medida são chamados de pedra. Os pedregulhos são resultados da desagregação de rochas e no processo de britagem forma a pedra britada. Todos esses elementos são utilizados para levantamento de muros, paredes, acabamentos e pintura. O cimento, por exemplo, é uma pasta aglomerante que junta os agregados: areia, pedra e água para formar uma massa compacta e dura para formação de paredes, muros, vigas, calçadas, etc.

As areias estão divididas entre fina ,média e grossa, figura 15 (com grãos de diâmetro entre dois e quatro milímetros), que são usadas para preparar concreto; média (com grãos entre 0,42 e dois milímetro de diâmetro) usada na preparação de massa e assentamento de tijolos; e média-fina e fina (com grãos entre 0,05 e 0,42 mm) para acabamento e pinturas.

FIGURA: 15. Areia grossa.



FONTE: Elaborada pelo autor.

Quando precisamos fazer calçadas, vigas ou acabamentos utilizamos a pedra britada, classificada de zero a cinco. Essa medida quer dizer que quanto maior sua classificação maior o seu diâmetro. Para que você tenha a dimensão da diferença de diâmetros de cada uma: a brita ou pedrisco 0 tem granulometria que

varia entre 4,8 mm e 9,5 mm, a brita 1 varia entre 9,5 mm e 19 mm, a brita 2 tem entre 19 mm e 25 mm, a brita 3 entre 25 mm e 50 mm, já a brita 4 tem entre 50 mm e 76 mm e, por último, a brita 5 com granulometria entre 76 mm e 100 mm.

3.2.3 ÁGUA

Seguindo a 15900-1 NBR de 2009, a água de abastecimento público é adequada para o concreto e já vem sendo utilizada, não necessitando de ensaio. A água potável que atende a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde é considerada dentro dos padrões exigidos pela norma do ABNT/CB-18 e pode ser utilizada sem restrição para a preparação do concreto. A água de esgoto, mesmo com tratamento, não é adequada para uso em concreto.

No ponto de vista da construção civil, a água de amassamento, utilizada para fazer a mistura do cimento com os agregados para formação do concreto, não pode apresentar pH menor que 5,0 (água ácida) e teor de sulfato superior a 2000 mg/L, segundo consta na NBR 15900-1:2009.

Responsável pelas reações de endurecimento do concreto devido à hidratação do mesmo, permitindo a ligação entre os componentes do concreto e fornecendo plasticidade na mistura, a água chega a representar 20% do volume do concreto. Considerando que a quantidade de água no concreto é significativa, substâncias prejudiciais presentes na água em teores acima do que a norma estabelece, acabam resultando no concreto simples, alteração do tempo de pega, diminuição de resistência, aparecimento de manchas e ocorrência da eflorescência (CIMENTO.ORG, 2010).

A água de amassamento é um fator que interfere diretamente na qualidade do concreto, seja na própria composição, ou na relação água/cimento. A relação água/cimento é um fator que influencia na suscetibilidade do concreto ao ingresso de agentes externos, pois interferem na porosidade, permeabilidade e capacidade de absorção. (Helene, 1999)

3.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO

Para aproveitar melhor a característica do produto é necessária escolher corretamente os materiais constituintes, a determinação de um traço (o traço nada mais é do que a indicação da quantidade dos materiais que constituem o concreto. Ele mostra a quantidade de areia e de brita que devem ser usadas na mistura para uma unidade de cimento. Um traço de 1:2:3, por exemplo, indica

que a proporção será de 1 parte de cimento por 2 partes de areia e 3 partes de brita, sempre obedecendo essa ordem. Já a quantidade correta de água varia porque depende da umidade da areia e da trabalhabilidade final do concreto) que garanta a resistência e a durabilidade desejada, o preparo da mistura de forma a se obter uma boa homogeneidade, cuidados na aplicação, no adensamento e na cura adequada, através desses cuidados, é possível determinar o concreto adequado para cada tipo de obra, evitando desperdício de materiais, reduzindo custos e aumentando a qualidade.

Por outro lado, nem sempre é possível verificar se o concreto utilizado apresenta a qualidade a que se refere, no caso dos concretos dosados em centrais, conhecer se a empresa cumpre as normas técnicas sobre a execução do concreto, é fundamental.

Com o aumento da concorrência e a evolução tecnológica, as empresas estão reavaliando seus métodos e sistemas de produção em busca de produtividade e competitividade. Muitas são as perspectivas e ideias que surgem no setor para adaptar a produção aos novos tempos.

Por exemplo, as novas soluções em concreto pronto ensacado que foram desenvolvidos para obras de pequeno porte, concretagem em etapas, pequenas reformas, ampliações, reparos, etc. Segundo fabricantes, as vantagens são grandes em relação aos concretos convencionais, pois dispensa uso de equipamentos como betoneira, instalações elétricas, não requer mão de obra qualificada é de fácil manuseio, disponibilidade do material a qualquer momento, trabalho limpo, racionalização dos trabalhos, evita compras e estocagem a granel e garante a uniformidade e resistência. (DURAN; FRACARO, 2011)

Caracterizadas essas propriedades para os dois tipos de concretos analisados. E como parte experimental do trabalho, utilizou-se o concreto pronto para execução de uma rampa, etapa essa na qual verificamos as propriedades, o manuseio, aplicação, vantagens e desvantagens em relação ao concreto convencional. (DURAN; FRACARO, 2011)

Assim, várias normas, inclusive a NBR 6118/2007, apresentam uma série de expressões a partir das quais se obtêm, em função da resistência característica à compressão, as outras propriedades mecânicas como resistência a tração e o módulo de elasticidade.

3.4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As principais propriedades do concreto são as mecânicas. (compreendem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, manifestadas pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura. Essas características dos são geralmente avaliadas por meio de ensaios, que indicam dependências tensão-deformação) Entretanto, apesar da evolução retratada, para o cálculo e execução de estruturas de concreto utiliza-se como aproximação razoável valores de diversas propriedades em função de sua resistência a compressão.

Assim, várias normas, inclusive a NBR 6118/2014, apresentam uma série de expressões a partir das quais se obtêm, em função da resistência característica à compressão, as outras propriedades mecânicas como resistência a tração e o módulo de elasticidade. Diversas pesquisas foram desenvolvidas em todo o Brasil no intuito de prever com maior clareza as correlações que envolvem a resistência à compressão e as demais propriedades do concreto. Os resultados observados nestes estudos, no entanto, divergem das expressões prescritas pela NBR 6118/2014.

Desta forma, com o intuito de projetar e executar estruturas em concreto de forma adequada, tendo como base o contexto em que insere-se o estado da arte deste material nasce o interesse em estudar a correlação da resistência à compressão com as demais características do concreto do ponto de vista técnico e estatístico.

3.4.1.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

No Brasil, atualmente, o controle da resistência à compressão do concreto é realizado de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 12655:2015 Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, que apresenta, no subitem 6.2 “Ensaio de resistência à compressão”, os limites máximos para a formação de lotes de concreto, critérios de amostragem e os dois tipos de controle tecnológico considerados: controle estatístico por amostragem parcial e controle por amostragem total.

No controle por amostragem parcial as amostras são coletadas aleatoriamente de betonadas distintas, respeitando a quantidade mínima de exemplares (conforme os grupos e classes de resistência do concreto) para

posterior determinação do $f_{ck,est}$ (O f_{ck} do concreto é a sua resistência característica à compressão, e a unidade de medida usada para definir os seus valores é o Mega Pascal, abreviado para Mpa por meio de expressões matemáticas (com fundamento estatístico) denominadas estimadores. Essas expressões levam em conta, no caso de amostras com número de exemplares compreendidos entre $6 \leq n < 20$, os menores resultados obtidos e, para amostras com 20 ou mais exemplares ($n \geq 20$), a resistência média (f_{cm}) e o desvio padrão de produção e ensaio efetivo, denominado na norma como s_d .

Além disso, no controle por amostragem parcial, o valor de $f_{ck, est}$ obtido deve ser comparado com os valores mínimos admitidos (determinados em função da condição de preparo do concreto e do número de exemplares). Consideram-se ainda alguns casos excepcionais: concretos produzidos por betonadas de pequeno volume e amostras compostas por número de exemplares compreendidos entre $2 \leq n \leq 5$.

Ressalta-se que, no Brasil, o controle por amostragem parcial é comumente empregado em fábricas de pré-moldados de concreto (lajes alveolares, vigas, pilares, dormentes etc.), devido, principalmente, à dinâmica de produção, à repetibilidade das peças e ao elevado número de betonadas envolvidas, sendo menos suscetível seu emprego em obras de arte ou de edificações construídas por concretagem in loco. (BONI; BRITEZ; HELENE, 2018)

Quanto ao controle por amostragem total (100%), todas as betonadas são amostradas e a resistência característica à compressão do concreto estimada ($f_{ck, est}$) é dada pelo valor da resistência à compressão do exemplar de cada betonada, uma vez que a amostra, neste caso de 100%, confunde-se com a população. Trata-se de um controle largamente utilizado no Brasil em obras de edifícios comerciais e residenciais de múltiplos pavimentos desde a vigência da ABNT NBR 6118.

Conforme estabelecido no subitem 6.2.2 “Amostragem” da norma ABNT NBR 12655:2015, cada exemplar deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma amassada e moldados no mesmo ato. A resistência do exemplar, para uma determinada idade de ruptura, é a maior dentre os dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

O controle da resistência à compressão do concreto das estruturas de edificação e de obras de arte, é parte integrante da introdução da segurança no projeto estrutural, sendo indispensável sua permanente comprovação ao longo da execução da estrutura (Pacheco & Helene, 2013), bem como a sua respectiva rastreabilidade por meio do adequado mapeamento do lançamento do concreto.

Esta consideração é oportuna na falta de resultados de ensaios que possam mostrar resultados mais realistas. A resistência à compressão é conhecida dos engenheiros calculistas e construtores por se tratar da propriedade mais difundida experimentalmente para avaliar a qualidade do concreto. Mas propriedades importantes como o módulo de elasticidade e a resistência à tração não são medidos na maioria das obras executadas no Brasil. (QUADROS, 2014)

3.4.2 TRABALHABILIDADE

A trabalhabilidade do concreto fresco determina a facilidade com o qual um concreto pode ser manipulado sem segregação nociva. De todas as formas, um concreto que seja difícil de lançar e adensar não só aumentará o custo de manipulação como também terá resistência, durabilidade e aparência, inadequadas. De forma similar, misturas com elevada segregação e exudação (termo usado para designar o fenômeno migratório da água existente na composição para a superfície deste material, levando consigo uma nata de cimento), são mais difíceis e mais caras na hora do acabamento e fornecerão concreto menos durável. Portanto trabalhabilidade pode afetar tanto o custo quanto a qualidade do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Segundo a Comunidade da Construção, a trabalhabilidade é uma propriedade que depende de diversos fatores, dentre os quais se destacam: as características e dosagens dos materiais constituintes e o modo de produção do concreto. Nenhum ensaio é capaz de fornecer uma avaliação completa da trabalhabilidade do concreto. O ensaio mais conhecido, que mede a consistência do concreto, é o denominado ensaio e abatimento do tronco de cone, mais conhecido como Slump Test. O abatimento do concreto é uma das medidas de referência das características do concreto, motivo pelo qual seu valor costuma ser especificado no pedido do concreto.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland, essa propriedade do concreto está associada a três características: • Facilidade de redução de vazios e de adensamento do concreto • Facilidade de moldagem, relacionada com o preenchimento da fôrma e dos espaços entre as barras de aço • Resistência à segregação e manutenção da homogeneidade da mistura, durante manuseio e vibração.

3.5 CURA DO CONCRETO

A cura é uma das principais etapas na execução do concreto, e tem participação direta no desenvolvimento do processo de hidratação da pasta de cimento, vedando o concreto, mantendo a água de amassamento no seu interior, evitando a retração e o transporte de substâncias que poderão interferir na hidratação. (SILVA et al., 2012)

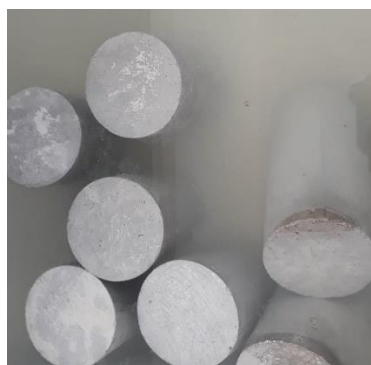
A resistência e a durabilidade do concreto são propriedades de suma importância, sendo necessário seu conhecimento para correta utilização como material portante em estruturas de concreto armado. A cura, elemento essencial no processo do controle tecnológico do concreto, deve ser bem executada, de modo a garantir seu desempenho máximo, cuja resistência à compressão é a propriedade mais fácil de ser mensurada. (SILVA et al., 2012.)

A cura do concreto é de fundamental importância para que as reações químicas de hidratação dos compostos presentes na pasta de cimento ocorram. Estas reações são importantes para o ganho de resistência mecânica por parte do concreto, e para a garantia da sua vida útil. Além disso, a manutenção da umidade do concreto por este método evita a formação de fissuras na superfície do material provocadas pelos efeitos de retração, o que ajuda a garantir sua durabilidade. (SILVA et al., 2012)

A cura do concreto é um procedimento fundamental para a hidratação do cimento como mostra a figura 16. Segundo Bauer (2001), entende-se por “cura do concreto” um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, a qual deverá reagir com o cimento, hidratando-o. Este processo favorece a “resistência mecânica à ruptura e ao desgaste, impermeabilidade e resistência ao ataque de agentes agressivos” (BAUER, 2001, p. 260). Outro fator importante a ser considerado é que “a cura em água reduz a retração da peça na fase em que o concreto tem pouca resistência, fato este de fundamental importância, por evitar formação de

fissuras de retração, que podem comprometer a impermeabilidade do concreto” (BAUER, 2001).

FIGURA: 16. Corpos de prova em cura submersa.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Existe uma quantidade mínima de água que possibilita a hidratação do cimento e uma boa trabalhabilidade (BOTELHO; MARCHETTI, 2010). Essa quantidade precisa ser mantida no interior do concreto por meio do processo de cura, para que seja permitido o progresso da formação de gel no cimento presente no concreto, o que o torna cada vez mais resistente e impermeável (BAUER, 2001).

Com relação ao tempo gasto na cura do concreto, Bauer (2001, p. 260) diz que “quanto mais perfeita e mais demorada for a cura do concreto, tanto melhores serão as suas características”. No entanto, na prática, é necessário conciliar os requisitos da qualidade com os da economia. Por isso, o período mínimo de cura que atende a ambos é, em média, de 7 a 10 dias (COUTINHO, 1971 apud BAUER, 2001).

Segundo a NBR 14931/2004, “elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão igual ou maior que 15 Mpa”. Durante a fase de hidratação, a cura deve ser realizada o mais breve possível, para que haja água suficiente para a máxima reação das partículas na pasta endurecida (SANTANA; COSTA)

3.6 ENSAIOS

O controle de qualidade do concreto requer a realização de uma série de ensaios para comprovar que o material entregue na obra está de acordo com parâmetros de aceitação. A série Traço de Concreto já abordou alguns destes testes, como os de abatimento e de espalhamento. Agora, o foco recai sobre os ensaios de resistência do concreto, imprescindíveis para garantir a

resistência à compressão e, por consequência, a qualidade da estrutura. É capaz de indicar eventuais variações da qualidade de um concreto, seja com relação à dosagem, seja quanto a seus insumos.

Desde o momento em que o concreto é preparado na concreteiras até a aplicação na obra, há uma série de fatores que podem colocar em risco sua resistência e desempenho.

Entre eles, é possível destacar o atraso no caminhão-betoneira que ultrapassa os limites previstos em norma, as mudanças climáticas ou mesmo a adição excessiva de água na mistura em uma tentativa de assegurar maior trabalhabilidade. Daí a importância da realização de testes laboratoriais para confirmar se a resistência do concreto fornecido é a mesma prevista em projeto. Tal controle de qualidade é fundamental para garantir a vida-útil da estrutura, bem como a segurança dos funcionários da obra e de todas as outras pessoas, proprietárias ou não, que irão usufruir do empreendimento no futuro.

3.6.1 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO CONE

A consistência do concreto está relacionada com suas próprias características, com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Modificando a proporção de água adicionada ou empregando aditivos, sua plasticidade é alterada, variando a deformação do concreto perante esforços.

A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto, sendo que esta última depende também de características da obra e dos métodos adotados para o transporte, lançamento e adensamento do concreto. A trabalhabilidade é uma propriedade do concreto recém-misturado que determina a facilidade e a homogeneidade com a qual o material pode ser utilizado.

O ensaio do abatimento do concreto como mostra a figura 17, também conhecido como Slump Test, é realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está adequado para o uso a que se destina.

FIGURA: 17. Ensaio de abatimento com tronco de cone.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Tabela 4. Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento.

Trabalhabilidade	Abatimento (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 a 10
Baixa	15 a 30
Média	45 a 75
Alta	80 a 155
Muito alta	160 ao desmoronamento

FONTE: NBR NM 67.

Procedimentos:

- Coletar a amostra de concreto;
- Colocar a fôrma tronco-cônica sobre uma placa metálica bem nivelada e apoiar os pés sobre as abas inferiores do cone;
- Preencher o cone com a primeira camada de concreto e aplicar 25 golpes com a haste de socamento, atingindo a parte inferior do cone;
- Preencher com mais duas camadas, cada uma golpeada 25 vezes e sem penetrar a camada inferior;
- Após a compactação da última camada, retirar o excesso de concreto, alisar a superfície com uma régua metálica e em seguida retirar o cone;
- Colocar a haste sobre o cone invertido e medir o abatimento (a distância entre o topo do molde e o ponto médio da altura do tronco de concreto

moldado). A medida máxima e mínima do abatimento é definida pelo calculista, em função das propriedades desejadas de trabalhabilidade.

Nesse caso, foram feitos dois slump tests: um, para verificar as propriedades do concreto usinado entregue, e outro após a adição de um aditivo, para verificar a capacidade de auto-adensamento do concreto (obtenção de um círculo de concreto de 45 cm, de acordo com especificações do cálculo estrutural). Após o concreto ser aceito através do ensaio de abatimento, deve-se coletar amostras para realizar o ensaio de resistência, através de moldagem de corpos

3.6.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO

O concreto é um material poroso, e praticamente todos os processos e mecanismos que provocam a sua deterioração estão relacionados com a facilidade com que a água (pura ou contaminada) se move através deste material. O concreto tem sua porosidade (volume, dimensão e interconectividade entre seus poros) regida por características intrínsecas aos seus materiais e a sua dosagem. Quanto mais fino for o cimento utilizado, e quanto menor for a relação água/cimento (a/c), menor será a porosidade do concreto. A água no concreto fresco tem a função de hidratar o cimento para desenvolver suas características de resistência, no entanto a água em excesso será evaporada, e o seu caminho em direção a superfície do concreto cria redes de poros que serão a fragilidade do concreto no estado endurecido. (SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2017).

Após o processo de hidratação, a estrutura de concreto fica exposta à água em forma de intempéries nas fachadas, ou lençol freático no solo em contato com as fundações. Neste último caso, o mecanismo de absorção por capilaridade tem grande importância. Neste processo a água ascende, contra a gravidade, através dos poros capilares do concreto. A presença da água, mesmo pura é um problema principalmente para as armaduras contidas no concreto, se houver oxigênio e a despassivação do aço a presença da água permite a corrosão das armaduras. A água também pode carregar agentes agressivos ao concreto ou ao aço. Por exemplo, águas com sulfatos provocam no concreto uma reação expansiva que pode gerar fissuras e lascamento que

aceleram o processo de deterioração, águas salinas (cloreto de sódio) promovem a despassivação das armaduras desencadeando o processo de corrosão. (SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2017).

3.6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de resistência à compressão como para avaliação dos concretos como mostra a figura 18, é um dos mais utilizados devido a sua facilidade de realização, pelo seu custo relativamente baixo e pela possibilidade de correlação com outras propriedades do concreto. (SILVA et al., 2014).

FIGURA: 18. Ensaio de compressão axial.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Os ensaios em laboratório para testes de compressão em corpos de prova em concreto ou argamassa seguem os procedimentos e diretrizes da NBR 5739 de 2007. Para constatar o valor da resistência característica a compressão (f_{ck}) do concreto utilizado, as obras fazem o chamado controle tecnológico deste concreto. Quando o caminhão betoneira chega no canteiro de obras, algum funcionário deve retirar os corpos de prova deste caminhão e identificá-los com data, hora e número da nota fiscal.

Este corpo de prova é padronizado e possui uma forma cilíndrica, deve ser preenchido com concreto sobre uma superfície nivelada e armazenado adequadamente conforme indicado na NBR 5738 (Norma Brasileira). Feito este procedimento o “CP” (apelido utilizado em 90% das obras que significa Corpo de Prova) deve ser encaminhado para o laboratório conforme citamos anteriormente.

A máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o CP até que o mesmo venha a romper, a força exercida é dividida pela área de topo do CP em cm^2 , temos então a relação de kgf (exercido pela máquina) por cm^2 , que, para chegarmos ao Mpa, basta dividir este valor por 10.

Segundo a NBR 5739 ensaios de compressão cilíndricos as fraturas são patologias geradas no concreto a partir do momento que o mesmo atinge seu limite de segurança, elas se apresentam em 5 (cinco) tipos podendo ocorrer variações entre elas, os tipos são: cônica, cônica e bipartida, cônica e cisalhada, cisalhada e colunar, as mesmas serão analisadas ao fim do ensaio para caracterizar cada tipo.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de abatimento, absorção, resistência por compressão axial e análise de tipo de fraturas tanto para os 12 cps de 20 e 12 de 25 MPa produzidos com cimento CII- 32 RS, quanto para os 12 cps de 30 e 12 de 40 MPa produzidos com cimento CII -32 Z. Esses resultados estão relacionados às propriedades mecânicas de resistência à compressão axial, abatimento, porcentagem de absorção e tipos de fraturas a partir da ruptura por ensaio de compressão

4.1. ENSAIO DE ABATIMENTO

O ensaio de slump test nos proporcionou os seguintes resultados como mostra na tabela 5, houve uma variação de 10 a 20 mm na medição do abatimento, e todos os 4 traços se enquadraram como concreto de média trabalhabilidade.

Tabela 5. Resultado dos abatimentos dos corpos de prova.

<i>TRAÇO</i>	<i>Abatimento (mm)</i>	<i>Trabalhabilidade</i>
<i>20 MPa</i>	<i>50</i>	<i>Média</i>
<i>25 MPa</i>	<i>70</i>	<i>Média</i>
<i>30 MPa</i>	<i>50</i>	<i>Média</i>
<i>40 MPa</i>	<i>40</i>	<i>Média</i>

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

4.2 RESULTADO DOS ENSAIOS DE % DE ABSORÇÃO

4.2.1 - CII-32 RS DE 20 MPa

A tabela a seguir mostra os pesos dos 12 cps, que foram pesados secos (após desmoldagem) e saturado (após os 28 dias de cura), e sua porcentagem em relação ao peso total de cada cp para traço 1 de 20 MPa.

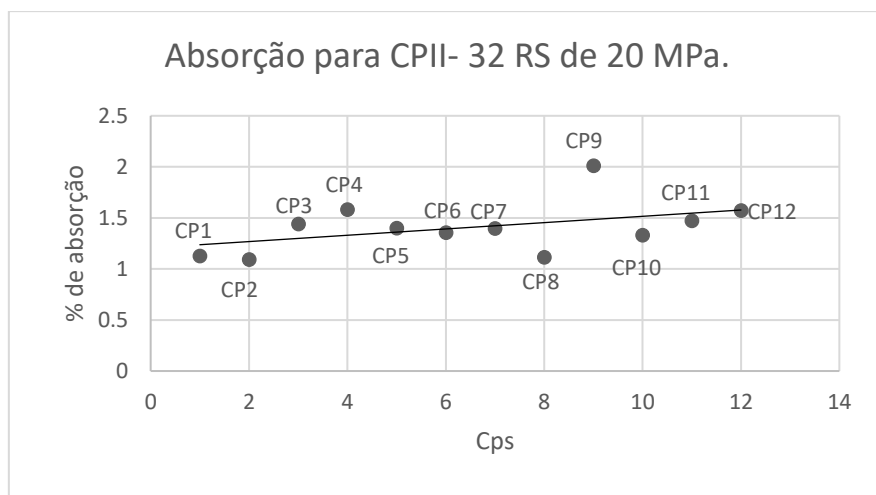
Tabela 6. % Absorção para CII-32 RS de 20 MPa.

Concreto CII-RS de 20 MPa				
CP	Peso seco (kg)	Saturado (kg)	Absorção (kg)	%
CP1	3,763	3,805	0,011	1,127
CP2	3,800	3,841	0,011	1,092
CP3	3,713	3,766	0,014	1,441
CP4	3,441	3,495	0,016	1,581
CP5	3,683	3,734	0,014	1,399
CP6	3,700	3,750	0,014	1,354
CP7	3,708	3,760	0,014	1,397
CP8	3,596	3,636	0,011	1,112
CP9	3,625	3,698	0,020	2,011
CP10	3,744	3,794	0,013	1,330
CP11	3,710	3,765	0,015	1,472
CP12	3,737	3,796	0,016	1,571

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

O seguinte gráfico de dispersão ilustra a absorção dos 12 cps correspondentes ao traço 1 de 20 MPa, obtendo uma média de 1,407%, com desvio padrão de 0,252, todos feitos no mesmo dia, tempo de cura iguais, usando o mesmo material e utilizando fator água cimento (a/c) de 0,65 ml.

GRÁFICO 1. Gráfico de % absorção CPlI- 32 RS de 20 MPa.



FONTE: Elaborado pelo autor 2018.

A tabela 7 mostra a porcentagem de absorção média entre os 12 cps de 20 MPa e o desvio padrão em relação a todas as porcentagens de absorção obtidas.

Tabela 7. Média e desvio padrão de absorção para traço 1 de 20 MPa.

Traço 1	Nº de cps	Média	Desvio padrão
20 MPa	12	1,407	0,252

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

4.2.2 - CPlI-32 RS DE 25 MPa

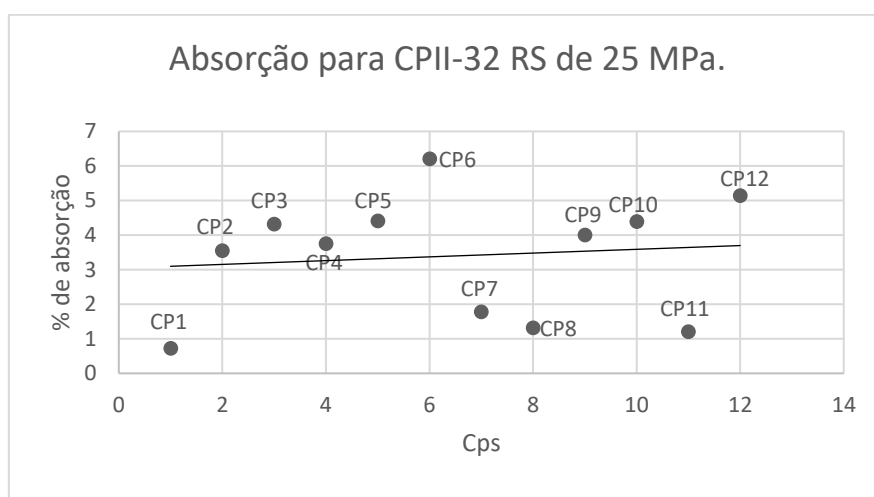
A tabela número sete (8), nos mostra os pesos e porcentagem de absorção para o traço 2 de 25 MPa, sendo produzindo com CPlI- 32 RS e usando fator água cimento (a/c) de 0,60 ml.

Tabela 8. % Absorção para CII-32 RS de 25 MPa.

Concreto CII-RS de 25 MPa				
CP	Peso seco (kg)	Saturado (kg)	Absorção (kg)	%
CP1	3,765	3,792	0,007	0,720
CP2	3,726	3,858	0,036	3,551
CP3	3,692	3,851	0,043	4,315
CP4	3,635	3,771	0,037	3,747
CP5	3,627	3,787	0,044	4,406
CP6	3,622	3,847	0,062	6,206
CP7	3,700	3,766	0,018	1,781
CP8	3,674	3,722	0,013	1,318
CP9	3,625	3,770	0,040	3,997
CP10	3,672	3,833	0,044	4,390
CP11	3,739	3,784	0,012	1,204
CP12	3,716	3,907	0,051	5,140

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 2. Gráfico de % absorção CII- 32 RS de 25 MPa.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Tabela 9. Média e desvio padrão da absorção para traço 2 de 25 MPa.

Traço 2	Nº de cps	Média	Desvio padrão
25 MPa	12	3,397	1,737

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

4.2.3- CII-32 Z DE 30 MPa

A tabela a seguir mostra os pesos dos 12 cps, que foram pesados secos (após desmoldar dos moldes) e saturado (após os 28 dias de cura), e sua

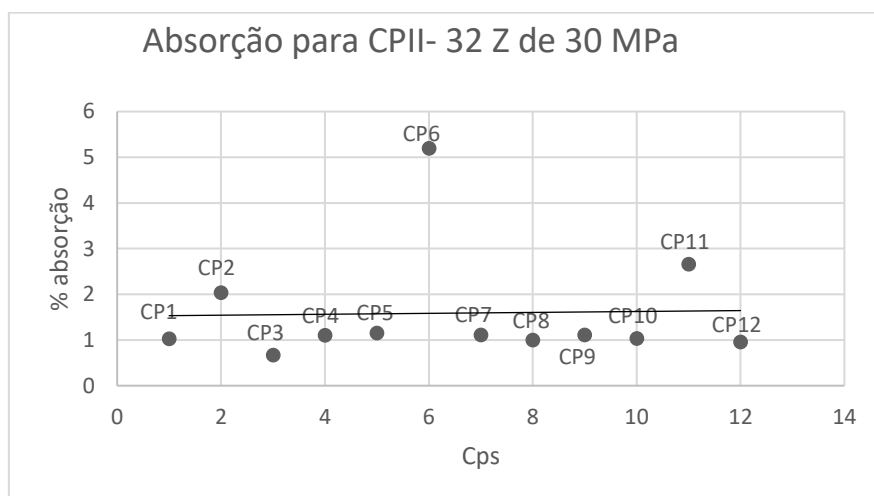
porcentagem em relação ao peso total de cada cp para traço 3 de 30 MPa, utilizando fator água cimento (a/c) de 0,50 ml.

Tabela 10. % Absorção para CII-32 Z de 30 MPa.

CONCRETO CII-Z DE 30 MPa				
CP	Peso seco (kg)	Saturado (kg)	Absorção (kg)	%
CP1	3,809	3,848	0,010	1,024
CP2	3,730	3,806	0,020	2,038
CP3	3,885	3,911	0,007	0,669
CP4	3,714	3,755	0,011	1,104
CP5	3,724	3,767	0,012	1,155
CP6	3,734	3,928	0,052	5,196
CP7	3,865	3,908	0,011	1,113
CP8	3,916	3,955	0,010	0,996
CP9	3,776	3,818	0,011	1,112
CP10	3,765	3,804	0,010	1,036
CP11	3,724	3,823	0,027	2,658
CP12	3,767	3,803	0,010	0,956

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 3. Gráfico de % absorção CII- 32 Z de 30 MPa.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Tabela 11. Média e desvio padrão da absorção para traço 3 de 30 MPa.

Traço 3	Nº de cps	Média	Desvio padrão
30 MPa	12	1,588	1,260

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

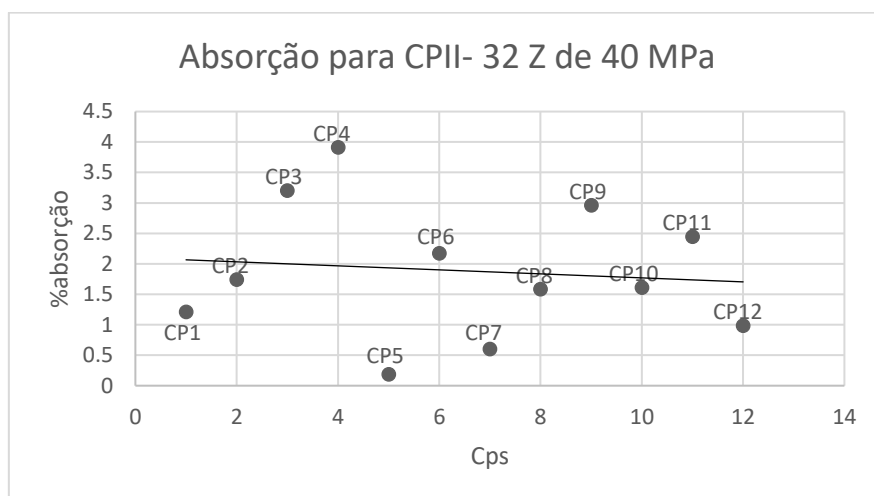
4.2.4 - CPlI-32 Z DE 40 MPa

Tabela 12. % Absorção para CPlI-32 Z de 40 MPa.

CONCRETO CPlI-Z DE 40 MPa				
CP	Peso seco (kg)	Saturado (kg)	Absorção (kg)	%
CP1	3,719	3,764	0,012	1,210
CP2	3,728	3,793	0,017	1,744
CP3	3,811	3,933	0,032	3,201
CP4	3,706	3,851	0,039	3,913
CP5	3,745	3,752	0,002	0,187
CP6	3,817	3,900	0,022	2,174
CP7	3,811	3,834	0,006	0,604
CP8	3,791	3,851	0,016	1,583
CP9	3,747	3,858	0,030	2,962
CP10	3,727	3,787	0,016	1,610
CP11	3,681	3,771	0,024	2,445
CP12	3,751	3,788	0,010	0,986

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 4. Gráfico de % absorção CPlI- 32 Z de 40 MPa.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Tabela 13. Média e desvio padrão da absorção para traço 4 de 40 MPa.

Traço 4	Nº de cps	Média	Desvio padrão
40 MPa	12	1,885	1,103

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

4.3 RESULTADO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL

4.3.1 - CII-32 RS DE 20 MPa

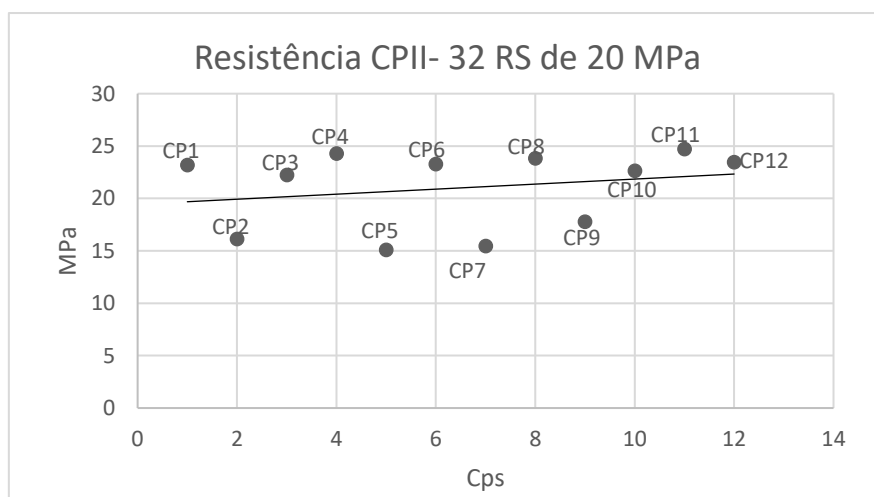
O traço 1 de 20 MPa teve 66,66% de êxito ao alcançar a resistência esperada pelo traço, abaixo no gráfico de dispersão podemos notar a variação de resistência que variou de 16,13 a 24,71 MPa, com média de 21,01 MPa e desvio padrão de 3,72.

Tabela 14. Resistência CII-32 RS de 20 MPa.

CONCRETO CII-Z DE 20 MPa				
CP	Tf	Kgf	Kgf/cm ²	MPa
CP1	18,56	18560	236,31	23,17
CP2	12,92	12920	164,50	16,13
CP3	17,81	17810	226,76	22,24
CP4	19,46	19460	247,77	24,30
CP5	12,10	12100	154,06	15,11
CP6	18,65	18650	237,46	23,29
CP7	12,38	12380	157,63	15,46
CP8	19,09	19090	243,06	23,84
CP9	14,24	14240	181,31	17,78
CP10	18,12	18120	230,71	22,62
CP11	19,79	19790	251,97	24,71
CP12	18,78	18780	239,11	23,45

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 5. Resistência traço 1 para 20 MPa.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Tabela 15. Média e desvio padrão de resistência para traço 1 de 20 MPa.

Traço 1	Nº de cps	Média	Desvio padrão
20 MPa	12	21,01	3,72

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

4.3.2 - CPII-32 RS DE 25 MPa

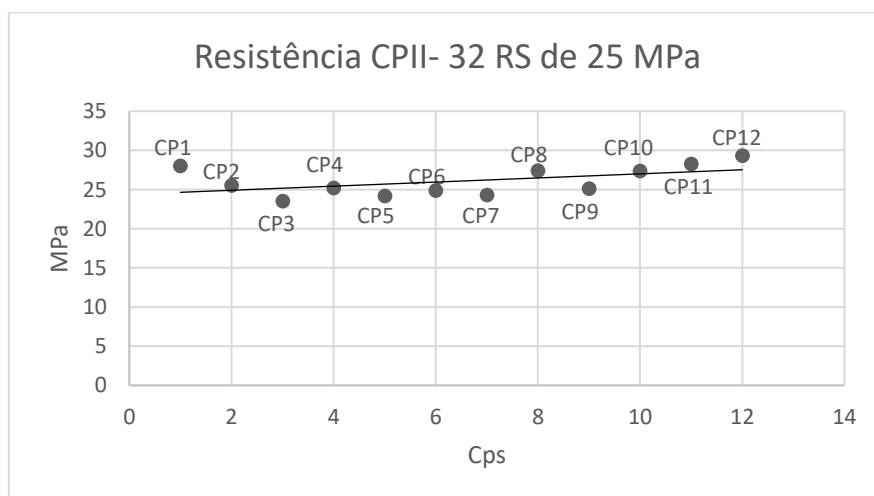
O traço de número 2 de 25 Mpa, por sua vez, também teve 66,66% dos seus cps atingindo a resistência esperada, tendo uma média de 26,09 MPa e um desvio padrão de 1,89.

Tabela 16. Resistência CPII-32 RS de 25 MPa.

CONCRETO CPII-Z DE 25 MPa				
CP	Tf	Kgf	Kgf/cm ²	MPa
CP1	22,42	22420	285,46	27,99
CP2	20,43	20430	260,12	25,51
CP3	18,83	18830	239,75	23,51
CP4	20,19	20190	257,07	25,21
CP5	19,37	19370	246,63	24,19
CP6	19,92	19920	253,63	24,87
CP7	19,45	19450	247,64	24,29
CP8	21,95	21950	279,48	27,41
CP9	20,11	20110	256,05	25,11
CP10	21,91	21910	278,97	27,36
CP11	22,64	22640	288,26	28,27
CP12	23,48	23480	298,96	29,32

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 6. Resistência traço 2 para 25 MPa.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Tabela 17. Média e desvio padrão de resistência para traço 2 de 25 MPa.

Traço 2	Nº de cps	Média	Desvio padrão
25 MPa	12	26,09	1,89

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

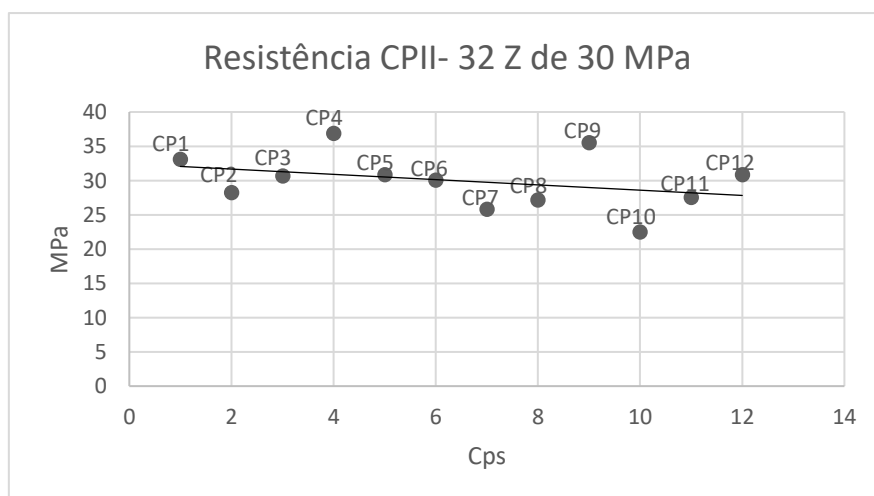
4.3.3- CII-32 Z de 30 MPa

O traço de número 3 de 30 MPa, produzido com cimento do tipo CII- 32 Z com adição de pozolana, teve 58,33% dos seus cps atingindo a resistência esperada, variando de 22,49 a 36,88 MPa, tendo uma média de 29,94 MPa e um desvio padrão de 4,05.

Tabela 18. Resistência CII-32 Z de 30 MPa.

CONCRETO CII-Z DE 30 MPa				
CP	Tf	Kgf	Kgf/cm ²	MPa
CP1	26,50	26500	337,41	33,09
CP2	22,62	22620	288,01	28,24
CP3	24,58	24580	312,96	30,69
CP4	29,54	29540	376,11	36,88
CP5	24,71	24710	314,62	30,85
CP6	24,07	24070	306,47	30,05
CP7	20,68	20680	263,31	25,82
CP8	21,77	21770	277,18	27,18
CP9	28,45	28450	362,24	35,52
CP10	18,01	18010	229,31	22,49
CP11	22,07	22070	281,00	27,56
CP12	24,73	24730	314,87	30,88

GRÁFICO 7. Resistência traço 3 para 30 MPa.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Tabela 19. Média e desvio padrão de resistência para traço 3 de 30 MPa.

Traço 3	Nº de cps	Média	Desvio padrão
30 MPa	12	29,94	4,05

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

4.3.4 - CII-32 Z de 40 Mpa

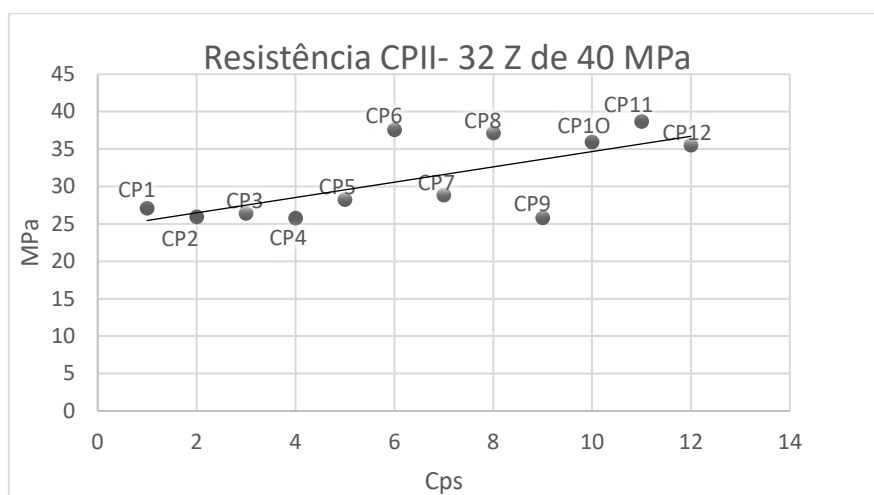
O traço de número 4 de 40 MPa, produzido com cimento do tipo CII- 32 Z com adição de pozolana, não teve obtido a resistência esperada dos seus cps, pois foi usado um cimento CII- 32, sua resistência foi variando de 25,78 a 38,71 MPa, tendo uma média de 31,08 MPa e um desvio padrão de 5.34.

Tabela 20. Resistência CII-32 Z de 40 MPa.

CONCRETO CII-Z DE 40 MPa				
CP	Tf	Kgf	Kgf/cm ²	MPa
CP1	21,70	21700	276,29	27,10
CP2	20,76	20760	264,32	25,92
CP3	21,15	21150	269,29	26,41
CP4	20,65	20650	262,92	25,78
CP5	22,63	22630	288,13	28,26
CP6	30,08	30080	382,99	37,56
CP7	23,09	23087	293,95	28,83
CP8	29,77	29765	378,98	37,17
CP9	20,68	20680	263,31	25,82
CP10	28,78	28780	366,44	35,94
CP11	31,00	31000	394,70	38,71
CP12	28,45	28450	362,24	35,52

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 8. Resistência traço 4 para 40 MPa.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Tabela 21. Média e desvio padrão de resistência para traço 4 de 40 MPa.

Traço 4	Nº de cps	Média	Desvio padrão
40 MPa	12	31,08	5,34

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

5- ESTUDOS COMPARATIVOS

5.1 ABSORÇÃO

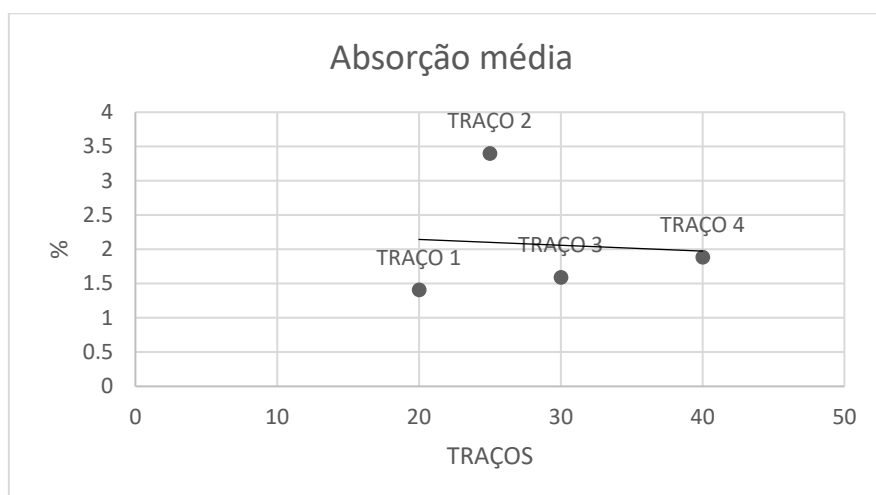
Comparando a porcentagem de absorção média dos 4 traços, pode-se constatar que o traço 2 de 25 Mpa, foi o traço que apresentou maior absorção em relação aos outros tendo média de 3,398 %, seguido pelo traço 4, com 1,885%, traço 3 com 1,588% e traço 1 com 1,407%.

Tabela 22. Média de absorção e desvio padrão para absorção.

Absorção		
Traço	Média	Desvio padrão
20	1,407	0,252
25	3,398	1,737
30	1,588	1,260
40	1,885	1,103

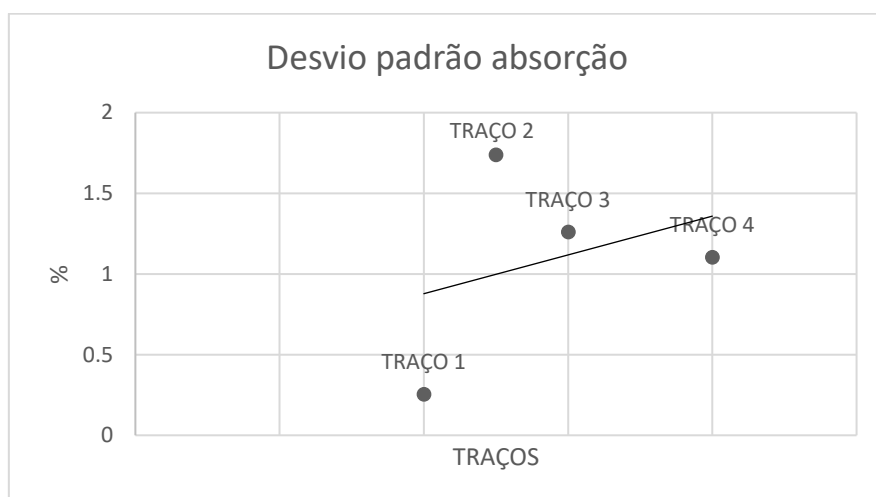
FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 9. Média de absorção dos 4 traços.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 10. Desvios padrão de absorção para os 4 traços.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

5.2 RESISTÊNCIA

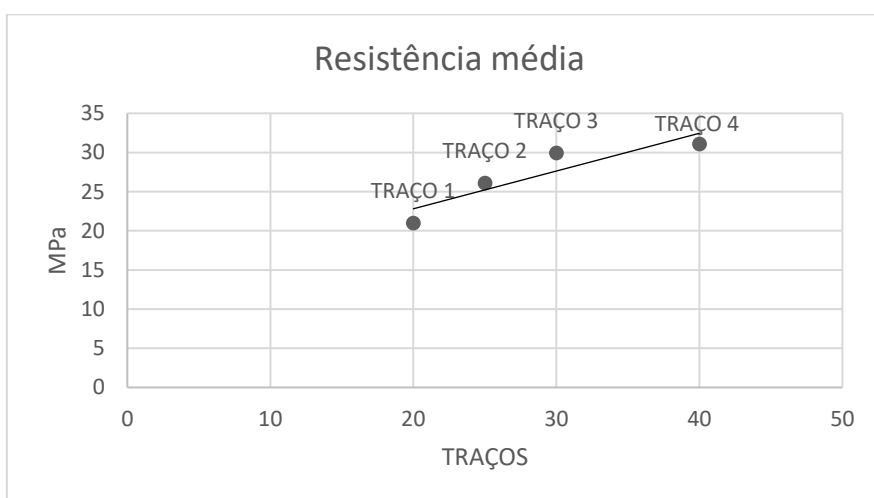
Comparando as resistências dos 4 traços respectivamente pode se notar que os traços 1 e 2 de 20 e 25 MPa estão com média acima da resistência esperada, apresentando desvio padrão de 3,72 e 1,89 respectivamente, já o traço 3 de 30 MPa obteve média inferior a 30, mas ainda aceitável, o traço 4 de 40 Mpa, não conseguiu atingir a resistência esperada tendo média de 31,08 Mpa e desvio padrão de 5,34, isso devido ao uso do cimento CP II- 32.

Tabela 23. Médias e desvios padrão de resistências para os 4 traços.

Resistência		
Traço	Média	Desvio padrão
20	21,01	3,72
25	26,09	1,89
30	29,94	4,05
40	31,08	5,34

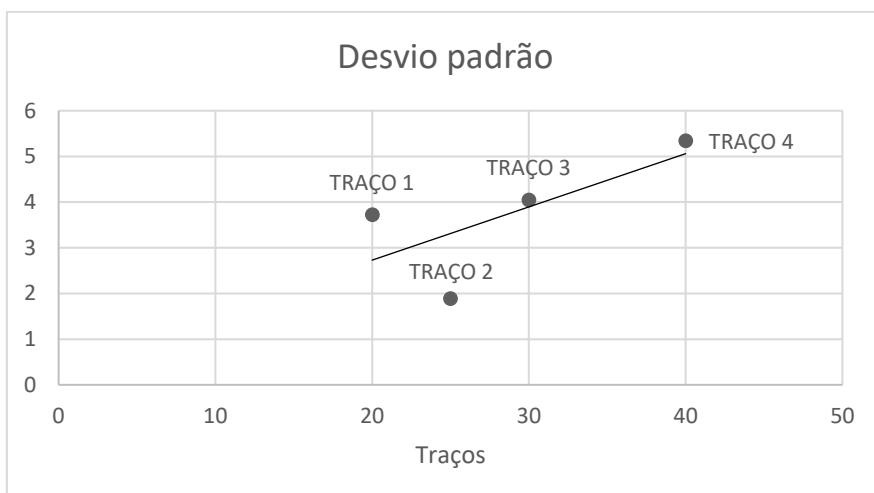
FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

GRÁFICO 11. Média de resistência para os 4 traços.



FONTE: Elaborada pelo autor.

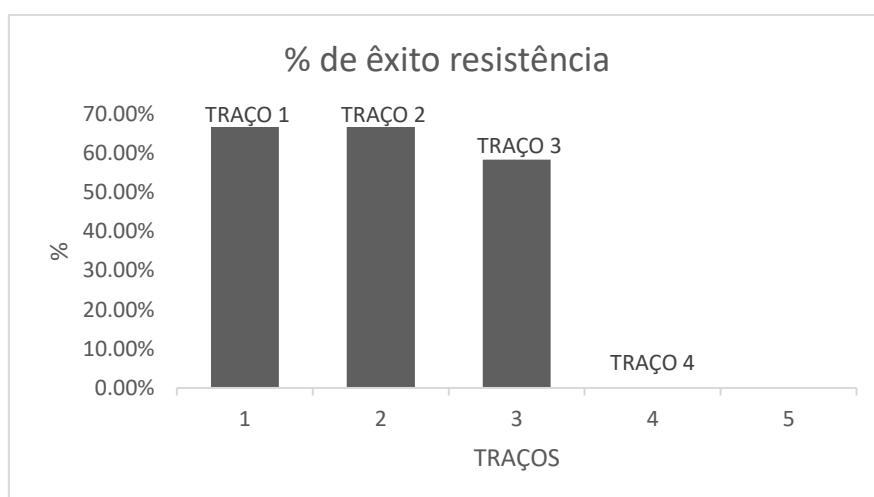
GRÁFICO 12. Desvio padrão de resistência para os 4 traços.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

Ao termino de todos os ensaios de compressão axial, foi constatado que os 24 cps produzidos com cimento CII- 32 RS, 8 (oito) corpos de prova de 20 MPa do traço 1 e 8 (oito) corpos de prova de 30 MPa do traço 2 tiveram 66,66% de êxito como mostra o gráfico 13, ou seja, 66,66% dos 12 corpos de prova para cada resistência, 24 (vinte e quatro) ao todo, alcançaram a resistência esperada e estimada pelo traço, já os 2 traços produzidos com cimento CII- 32 Z, o traço 3 de 30 MPa apresentou 7 (sete) cps alcançando a resistência esperada, sendo 58,33% de eficiência, já o traço 3 para 40 MPa, não obteve nenhuma corpo de prova com a resistência esperada, visto que foi usado um cimento do tipo 32 , ou seja, o concreto tem resistência estipulada pelo cimento da fábrica de 32 MPa, podendo chegar a 35 ou 37, mas 40 MPa não poderia ser atingido.

GRÁFICO 13. Porcentagem de êxito resistência esperada para cada traço.



FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

6- RESULTA DA ANÁLISE DA FRATURA

Tabela 24. Tipos e porcentagens de fissuras para os 4 traços.

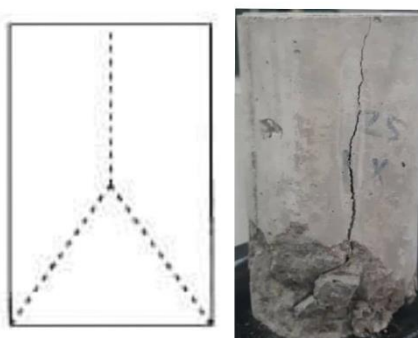
Traço	Tipo 1	Quantidade	%	Tipo 2	Quantidade	%
1	B	12	100	-	-	-
2	B	4	41,6	C	8	58,3
3	B	6	50	E	6	50
4	B	9	70	E	3	50

FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

6.1 FRATURAS PARA TRAÇO 1 DE 20 MPa

Após os ensaios e feita a análise dos 12 cps do traço 1 de 20 MPa, produzido com cimento CII- 32 RS, pode ser constatado que 100%, ou seja, todos os corpos de prova (12) apresentaram segundo a NBR 5739 fraturas do tipo B cônica e bipartida. Figura 19.

FIGURA: 19. Fratura predominante nos cps do traço 1 tipo "B".

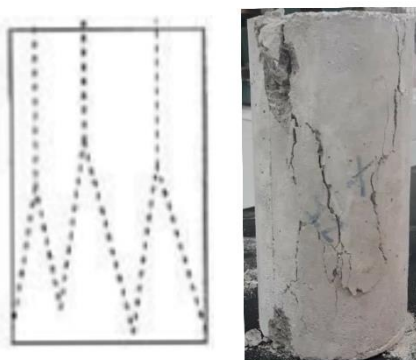


FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

6.2 FRATURAS PARA TRAÇO 2 DE 25 MPa

No traço 2 de 25 MPa, as fraturas de apresentaram com 41,66 % das fraturas do tipo B cônica e bipartida e 58,33 do tipo C colunar com formação de cones como mostra na figura 20.

FIGURA: 20. Fratura predominante nos cps do traço 2 tipo "C".

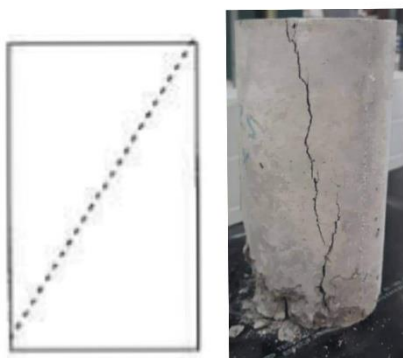


FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

6.3 FRATURAS PARA TRAÇO 3 DE 30 MPa

O terceiro traço de 30 MPa produzido com cimento CII-32 Z apresentou 50% (6) de fraturas do tipo B cônica e bipartida e 50% (6) do tipo E cisalhada, como mostra a figura 22 abaixo.

FIGURA: 21. Fratura predominante nos cps do traço 3 tipo "E".

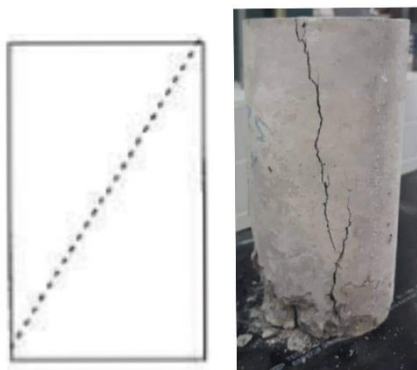


FONTE: Elaborada pelo autor 2018.

6.4 FRATURAS PARA TRAÇO 4 DE 40 MPa

O quarto traço ainda usando CII- 32 Z, apresentou fissuras sendo 70% (9) do tipo E cisalhada e 30 % (3) do tipo B cônica e bipartida, como pode ser visto na figura 22.

FIGURA: 22. Fratura predominante nos cps do traço 4 tipo "E".



FONTE: Elaborada pelo autor.

7 CONCLUSÕES

Seguem as conclusões dos resultados obtidos no estudo de caso:

Ensaio 1: Trabalhabilidade:

Foram analisados no momento da confecção dos corpos de prova para os 4 traços de concreto com cimento do tipo CPPII- 32 RS para 20 e 25 MPa e CPPII-32 Z para 30 e 40 MPa, a partir do ensaio de abatimento por tronco de cone (slump test), nesse ensaio foi possível constatar que mesmo usando 2 tipos de concreto e 4 tipos de traços, não foi possível observar uma diferença na sua trabalhabilidade; todos apresentaram trabalhabilidade média, variando de 40 mm a 70 mm entre os traços, com traço 1 e 2 utilizando CPPII- 32 RS apresentando trabalhabilidade 50 e 70 mm variando +20 mm do traço 1 para o traço 2, sendo um pouco maior do que o traço 3 e 4 de 50 e 40 mm que variam do traço 3 para o 4 - 10 mm feitos com cimento CPPII-32 Z.

Ensaio 2: Absorção

Foram analisados no após a confecção dos cps o peso seco, e após o os 28 dias de cura o peso saturado e analisando a variação, média e desvio padrão para os 4 traços, foi possível entender que, no traço 1 e 2 CPPII- 32 RS de 20 e 25 MPa respectivamente apresentou no traço 1 absorção que varia de 1,092 a 2,011 % com média de 1,407 % e desvio padrão de 0,252, já o traço 2 apresentou variação de 0,720 a 5,140 % com média de 3,398 % e desvio padrão de 1,737, comparando os 2 pode perceber que o traço 2 possui absorção média maior que o traço 1 com um variação de +1,991%, já no caso do traço 3 e 4 feitos com CPPII- 32 Z, apresentou no traço 3 variação de 0,669 a 5,196%, com média de 1,588% e desvio padrão de 1,260, traço 4 variação de 0,187 a 3,913% com média de 1,885% e desvio padrão de 1,103 comparando os 2, o traço 4 possui absorção média maior que o traço 3 com variação de +0,297%.

Ensaio 3: Compressão axial

Após realizados ensaios de compressão com prensa hidráulica em laboratório, foram analisados todos os resultados dos 4 traços feitos com os 2 tipos de cimento, foi possível constatar que nos traços 1 e 2 feitos com CII-32 RS de 20 e 25 MPa, no traço 1 apresentou variação de resistência esperada de 15,11 a 24,71 MPa, com média de 21,01 MPa e desvio padrão de 3,72, o traço 2 apresentou variação de resistência esperada de 23,51 a 29,32 MPa, com média de 26,09 MPa e desvio padrão de 1,89, comparando os traços 1 e 2 foi possível entender que nos 2 casos a resistência média esperada foi atingida, sendo o traço 1 com desvio padrão maior que o traço 2 com variação de -1,830. Nos traços 3 e 4 utilizando cimento do tipo CII- 32 Z de 30 e 40 MPa, no traço 3 pode-se notar variação de resistência esperada de 22,49 a 36,88 MPa com média de 29,94 MPa e desvio padrão de 4,05, no traço 4 foi observado uma variação de 25,78 a 38,71 MPa com média de 31,08 Mpa, não atingindo a resistência esperada que era de 40 Mpa, devido ao uso do cimento do tipo CII-32, com desvio padrão de 5,34. Comparando os traços 3 e 4 foi possível observação que o traço 4 possui um desvio padrão maior, com uma variação de +1,29 em relação ao traço 2, analisando os 4 traços como um todo os traços 3 e 4 feitos com CII-32 Z, apresentaram desvio padrão superior aos traços 1 e 2 com CP-II 32 RS.

Análise: Fissuras

Observando as fissuras após ensaio de compressão axial, foi possível constatar que nos traços 1 e 2 de 20 e 25 MPa com CII-32 RS, apresentou tipo de fissuração predominante do tipo B cônica e bipartida, já nos traços 3 e 4 com CII-32 Z de 30 e 40 Mpa, apresentou fissuração predominante do tipo E cisalhada, como um todo o tipo B cônica e bipartida esteve presente em todos os 4 traços.

Conclusão: O concreto produzido com cimento CII-32 RS, apresentou maior abatimento que o concreto CII-32 Z, o traço 2 apresentou maior índice de absorção que os demais traços, isso ocorreu por que os outros 3 traços foram produzidos com uso de vibrador para adensamento, visto que o traço 2 foi feito de maneira manual, então a incidência de índice de vazios é maior, com isso maior porcentagem de absorção. Analisando os demais foi possível entender que como o traço 3 e 4 apresentaram menor absorção, devido a isso é possível

constatar que , o concreto produzido com cimento do tipo CPPII-32 Z, é 23,42% mais eficiência ao combate de agentes agressivos encontrados no meio onde a estrutura está exposta, visto que quanto maior a absorção maior são as chances de um agente agressivo penetrar as camadas internas do concreto, e deteriorar sua estrutura de dentro pra fora.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5753: Cimento Portland - Ensaio de pozolanicidade para cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento de concreto parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004.
- ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002, p. 03.
- ALHADAS, Miguel Fernando Schettini. **estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto dissertação**. 2018. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2018.

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita e areia.** Tese de Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, 118p. São Paulo, 2000.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 471 p.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado, eu te amo.** São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

CIMENTO.ORG. **Efeito da qualidade da água no concreto.** 2010. Disponível em:< <https://cimento.org/efeito-da-qualidade-da-agua-no-concreto/>>. Acesso em: 05 de setembro de 2018.

COUTO, José Antônio Santos et al. **O concreto como material de construção.** Cadernos de Graduação: ciências exatas e tecnológicas, Sergipe, p.49-58, out. 2013.

CASTRO, A. L. de; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. **A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional.** 2011. 12 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de S. Carlos, Rod. Washington Luiz, São Paulo, 2011.

COUTINHO, A. de Souza. **Fabrico e propriedades do Betão.** Lisboa: LNEC, 1973.

CASTRO, Alessandra L.; **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho.** 2007. 302p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007

DAL MOLIN, D.C.C. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microssílica.** São Paulo, 1995. 286p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

DWECK, J.; SILVA, P. F.; BUCHLER, P. M.; CARTLEDGE, F. K. **Study by Thermogravimetry of the evolution of ettringite phase during type II Portland cement hydration.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 69, p. 179-186, 2002.

DURAN, Ana Paula; FRACARO, Danielly. **Verificação das propriedades básicas do concreto industrializado fornecido em embalagens de 30 kg**. 2011. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2011.

DUARTE, Tiago João Seco. **técnicas de microscopia aplicadas a materiais de base cimentícia**. 2010. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/bruno/Downloads/000143382.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2018.

EVANGELHISTA, A.C.J. **Avaliação da Resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**”, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia– Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, Rio de Janeiro, junho 2002.

FARIAS, M.M; PALMEIRA, E.M, **Agregados para construção Civil” – Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais** - Volume 1, 1 Edição, São Paulo, 2007.

GONÇALVES, Jardel Pereira; TOLEDO FILHO, Romildo Dias; FAIRBAIRN, Eduardo de Moraes Rego. **Estudo da hidratação de pastas de cimento Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica**. Feira de Santana-BA, p.1-12, 18 dez. 2016.

GONÇALVES, Gabriel da Rosa; GODINHO, Daiane dos Santos da Silva. **Análise da influência da água de amassamento contaminada por elementos químicos oriundos de mineração de carvão nas propriedades do concreto**. Unesc, Santa Catarina, p.1-20, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4975/1/GabrielDaRosaGon%C3%A7alves.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

GUIMARÃES, A. T. C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

GUÉNOT-DELAHAIE, I. **Contribution à l’analyse physique et à la modélisation du fluage propre du béton**. 1996. These de doctorat de l’Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, França, 1996.

TAYLOR, H. F. W. Cement chemistry. 2. ed. London: Thomas Telford, 1997.

PARROT, L. J.; GEIKER, M.; GUTTERIDGE, W. A.; KILLOH, D. **Monitoring Portland cement hydration: comparison of methods. Cement and Concrete Research**, v. 20, p. 919-926, 1990.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Vida útil das estruturas de concreto. in: international conference on high-performance concrete and performance and quality of concrete structures**, Gramado, 1999.

LOPES, Taís Biazão. **comparação da microestrutura do concreto auto adensável com o concreto convencional**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2016.

LEITE, M.B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 270 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (2001).

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994, p. 01-02.

MALHOTRA, V. M. Making Concrete "Greener" With Fly-Ash. **Concrete International**, v. 21, n. 5, p. 61-66, 1999.

MAGALHÃES, A.G. **Caracterização e Análise macro e micro estrutural de concretos fabricados com cimentos contendo escória de alto-forno** – Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Estruturas – Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2007.

MARSH, B. K.; DAY, R. L. **Pozzolanic and cementitious reactions of fly ash and blended cement pastes. Cement and Concrete Research**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 1983. RVEDALAKSHMI, R.; SUNDARA RAJ, A.; SRINIVASAN, S.; GANESH BABU, K. **Quantification of hydrated cement products of blended cements in low and medium strength concrete using TG and DTA technique**. *Thermochimica Acta*, n. 407, p. 49-60, 2003. *Research*, v. 18, p. 301-310, 1988.

- NEVILLE, ADAM. **Propriedades do concreto**, II Edição, São Paulo, Pini, 1997.
- RIBEIRO JÚNIOR, Enio. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. Revista Especialize On-line Ipog, Goiânia, Go, p.1-15, 25 abr. 2015.
- NETO, C.S. **Agregados para concreto, Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**” - IBRACON, 2005, São Paulo
- NUNES, F.W.G. **Resistência e Módulo de Elasticidade de Concretos Usados no Rio de Janeiro**” – Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- PACHECO J. & HELENE P. **Controle da resistência do concreto – 1a Parte, Revista Concreto e Construções**. 2013. n. 69, pp 75 – 81.
- BONI, Ricardo; BRITZ, Carlos; HELENE, Paulo. **Controle da resistência à compressão do concreto: análise comparativa entre os procedimentos propostos pela ABNT, ACI e EN**. p.1-1, 15 abr. 2018. Disponível em: <<https://techne.pini.com.br/2018/04/controle-da-resistencia-a-compressao-do-concreto-analise-comparativa-entre-os-procedimentos-propostos-pela-abnt-aci-e-en/>>. Acesso em: 10 nov. 18.
- QUADROS, Peterson Araújo. **estudo das correlações entre as propriedades mecânicas do concreto**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/626M.PDF>>. Acesso em: 13 Nov. 2018.
- RAMACHANDRAN, V. S.; BEAUDOIN, J. J. **Handbook of analytical techniques in concrete**. Park Ridge, NJ: Noyes Publications, 2001.
- MASSAZZA, F. **Lea's Chemistry of Cement and Concrete**. 4th ed. London: Arnold, 1998.
- SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. **Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: Análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica**. 1994. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

- SILVEIRA, Adriana Augustin. **A utilização de cinza de casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos**. 1996. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 23., 2017, RS. **Absorção de água por capilaridade em concretos com e sem adição de produtos de proteção**. Santa Cruz do Sul: Edunisc, 2017. 1 p. Disponível em: <<http://online.unisc.br/acadnet/anais/public/apresenta.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- SILVEIRA, R.L. **Concreto de Alto Desempenho: Propriedades Mecânicas e Durabilidade** - Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Estruturas – Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2000.
- SILVA, Andressa Varela da Rocha et al. **Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades**. VII Connepi, Natal/rn, p.1-8, 2012. Disponível em: <<http://propi.iftto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/2954/2183>>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- SOUZA, Fabiana Lovatto de. **Propriedades de concretos produzidos pela substituição de agregados naturais por rejeitos de usinas concreteiras**. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2007.
- SILVA, Mateus Justino da et al. **Resultados do ensaio de resistência à compressão em concretos**. 21º Cbecimat, Cuiabá, MT, p.1-8, 2014.
- MEDINA, J. (1997). **Mecânica dos Pavimentos**. UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 380 p.
- SANTANA, Lisandro Lacerda; COSTA, Fernanda Nepomuceno. **Análise da resistência à compressão de concretos com cura úmida e sem cura**. Salvador: UCSAL. 16 p.
- USGS. **Cement Statistics and Information**. 2010. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/mcs-2012-cemen.pdf>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2018.
- VALVERDE, F.M. (2003). Sumário Mineral 2003. **Agregados para a construção civil**, pp.32-33. Disponível em URL: www.dnpm.gov.br. Acesso em novembro/2018.

VERZEGNASSI, Emerson. **Estudo das propriedades no estado fresco e endurecido do concreto leve autoadensável**. 2015. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Limeira 2015.

WORRELL *et al.* Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry. **Annual Review Energy and the Environment**, v. 26, n. 1, p. 303-29, 2001.

YOGENDRAN, V.; LANGAN, B. W.; WARD, M. A. **Hydration of cement and silica fume paste. Cement and Concrete Research**, v. 21, p. 691- 708, 1991.
6. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 507 p.