UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

A influência do uso de aditivos cristalizantes na resistência do concreto

Allison Lindsay Marques da Silva

João Israel Cândido de Arruda Santos

Joaquim Alexandre Bonifácio Almeida

GOIÂNIA, 2019

Allison Lindsay Marques da Silva

João Israel Cândido de Arruda Santos

Joaquim Alexandre Bonifácio Almeida

A influência do uso de aditivos cristalizantes na resistência do concreto

Projeto de pesquisa apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer

GOIÂNIA, 2019

Allison Lindsay Marques da Silva
João Israel Cândido de Arruda Santos
Joaquim Alexandre Bonifácio Almeida

A influência do uso de aditivos cristalizantes na resistência à compressão e tração do concreto

Projeto de Pesquisa apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer

Aprovada em_____/_____/_____

_____

Prof. Dr. André Luiz Bortolacci Geyer (Presidente)

_____

Prof. Dr.(Examinador)

_____

Prof. Dr.(Examinador)

Avisto que as revisões solicitadas foram feitas

_____

Orientador

Em: _____/_____/_____

RESUMO

O concreto é o segundo material mais consumido pelo homem atualmente, perdendo apenas para a água. Se estima que o seu consumo seja de aproximadamente 19 bilhões de toneladas métricas ao ano. Vários fatores contribuem para seu uso, como sua plasticidade, resistência à água e baixo custo. Porém, o uso de concreto em larga escala gera grande preocupação com a qualidade e a durabilidade das estruturas que levam esse material. Com altos custos envolvidos nas fases construtivas e nas fases de manutenção, se torna necessária a adoção de medidas que visem aumentar cada vez mais a vida útil das estruturas, proporcionando sua utilização dentro dos padrões de segurança e funcionalidade. Pensando então nessa abordagem, o uso de concreto com aditivos cristalizantes se torna banstante eficiente. Os aditivos cristalizantes têm por objetivo impermeabilizar e proteger as estruturas de concreto armado. Segundo Takagi, Júnior e Oliveira (2004), o aditivo aplicado sobre o concreto e o tratamento é capaz de gerar formações cristalinas profundas, tornando-se parte integrante do mesmo e formando uma barreira definitiva que sela os poros e capilaridades, impedindo a penetração da água, mesmo sob altas pressões hidrostáticas. O aditivo cristalizante é bastante usado e pode ser utilizado em várias etapas na construção civil, porém muitas obras o fazem sem verificar o verdadeiro impacto que esse aditivo tem sobre as propriedades do concreto. Levando esse fato em consideração e os poucos estudos sobre o impacto do uso de aditivos cristalizantes no concreto, nesse presente trabalho pretende mostrar a verdadeira influência do uso dos aditivos cristalizantes na trabalhabilidade, resistência à compressão e tração do concreto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Concreto não tratado 18

Figura 2 – Inicio da cristalização..... 19

Figura 3 – Cristalização final. 19

Figura 4 – Estação de tratamento de esgoto Alegria. 20

Figura 5 – Fábrica General Motors. 20

Figura 6 – Stadium Australia. 21

Figura 7 – Teste de abatimento do tronco de cone. 24

Figura 8 – Esquema do ensaio brasileiro segundo NBR 7222 (ABNT,2011,p.3)..... 25

Figura 9 – Corpos de provas prontos para romper após o slump test e secagem. 27

Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão. 28

Figura 11 – Corpo de prova na prensa hidráulica para o rompimento. 31

Figura 12 – Preparação dos corpos de provas para o ensaio de tração..... 33

Figura 13 – Estilo de ruptura do corpo de prova no ensaio de tração. 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil 13

Tabela 2 – Definição do traço do concreto. 26

Tabela 3 – Resultado do test de Slump. 26

Tabela 4 – Resultado do ensaio de compressão ao 28° dia. 29

Tabela 5 – Resultado do ensaio de compressão ao 56° dia. 29

Tabela 6 – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. 32

Tabela 7 – Cronograma. 35

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{ct} – Resistência à tração na compressão diametral

F – Carga maxima aplicada

l – Altura do corpo de prova em milímetros

d – Diâmetro do corpo de prova em milímetros

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência à compressão ao 28° dia. 29

Gráfico 2 – Resistência à compressão ao 56° dia. 30

Gráfico 3 – Comparação da resistência à compressão no 28° e 56° dia. 30

Gráfico 4 – Resistência à tração do concreto por compressão diametral. 32

LISTA DE ABREVIATURAS

CP – Corpos de prova

MPa – Mega Pascal

kg – Kilograma

mm – Milimetros

m^2 – Metro-quadrado

m^3 – Metro-cúbico

h – Horas

min – Minutos

cm – Centímetros

pH – Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

Conteúdo

LISTA DE FIGURAS **5**
LISTA DE TABELAS **6**
LISTA DE SÍMBOLOS **7**
LISTA DE GRÁFICOS **8**
LISTA DE ABREVIATURAS **9**
1 INTRODUÇÃO **12**
1.1. JUSTIFICATIVA 13
1.2 OBJETIVO GERAL 13
1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO 13
2 REVISÃOBIBLIOGRÁFICA **14**
2.1 CONCRETO 14
2.2 CIMENTO 14
2.3 AGREGADOS 15
2.4 ÁGUA 16
2.5 ADITIVOS CRISTALIZANTES 17
2.5.1. REAÇÃO DE CRISTALIZAÇÃO 18
2.5.2. EXEMPLO DE OBRAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS 20
3 METODOLOGIA E MÉTODOS **22**
3.2 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA 22
3.3. ENSAIOS 23
3.3.1. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DE CONE 23
3.3.2. ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS 24
3.3.3. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA À TRAÇÃO DO CONRETO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL 24
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS **26**
4.1. PREPARAÇÃO DO CONCRETO 26
4.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILINDRICOS. 28
4.3. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL 30
5 CONCLUSÃO 34
6. CRONOGRAMA 35
7. REFERÊNCIASBIBLIOGRÁFICAS **36**

1 INTRODUÇÃO

Segundo Mehta e Monteiro (2014) o consumo atual de concreto no mundo é da ordem de 19 bilhões de toneladas métricas ao ano.

O uso em grande escala desse material é justificado principalmente por três de suas propriedades:

- Sua resistência à água, o que é um grande diferencial em relação ao aço;
- Sua plasticidade no estado fresco, o que permite elementos estruturais de diferentes tamanhos e formas;
- Baixo custo e disponibilidade do material.

O concreto é resistente à maioria dos ambientes existentes, mas em alguns casos como reservatórios, piscinas obras de saneamento básico e obras offshore, ele não apresenta a eficiência necessária. Isso ocorre devido à sua porosidade e aos grandes desgates gerados por agentes externos, como exemplo a colmatação da armadura do concreto armado em obras em alto mar. Visando então a eficiência e qualidade desse concreto, torna-se obrigatória a adoção de medidas que visem aumentar cada vez mais a vida útil das estruturas, proporcionando sua utilização dentro dos padrões de segurança e funcionalidade.

De acordo com Takagi, Júnior e Oliveira (2004), é dentro desse contexto que se encaixa o tratamento químico cristalizante, que tem por objetivos impermeabilizar, proteger e aumentar a durabilidade de novos concretos, como também na recuperação e reabilitação de estruturas de concreto existentes. Os ingredientes ativos do tratamento químico cristalizante causam reações catalíticas que geram formações cristalinas dentro dos poros e capilaridades do concreto. A química envolvida é totalmente compatível com as reações do concreto. Estas formações cristalinas tornam-se parte integrante da estrutura do concreto, levando ao aumento das características impermeáveis, prevenindo a penetração de líquidos tanto por pressões hidrostáticas positivas como negativas.

1.1. JUSTIFICATIVA

Muitas obras têm utilizado os aditivos cristalizantes, porém não existem no Brasil muitas pesquisas que avaliem com materiais locais a influência destes aditivos nas propriedades mecânicas do concreto, em especial na resistência à compressão.

Nesse trabalho avaliamos os diferentes tipos de aditivos cristalizantes, visando compreender melhor a sua influência nas propriedades mecânicas do concreto produzido com materiais da região de Goiânia.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral verificar a influência de 3 aditivos cristalizantes na resistência à compressão e a tração do concreto, sendo eles, VANDEX AM – 10, Xypex Admix C-500 NF, Penetron Admix FT 004. Comparando o concreto com e sem o uso de aditivos cristalizantes através de ensaios que foram feitos em laboratório.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Avaliar a influência dos aditivos cristalizanetes na trabalhabilidade do concreto;

- Verificar a interferência dos aditivos cristalizantes na resistência à compressão e a tração do concreto;

2 REVISÃOBIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

O concreto é um material composto de aglomerantes, geralmente o cimento e a água, e dos agregados, areia e brita. Devido à sua grande utilização, podemos dizer que existe um quinto componente do mesmo, que são os aditivos. Sabemos que o concreto é bastante utilizado mundialmente, devido a características peculiares desse material, sendo que a seguir, será explicitado sobre estes componentes e características.

2.2 CIMENTO

Fazendo uma breve referência histórica sobre esse material, Battagin (2011) explica que os primeiros passos para o surgimento do cimento foram dados pelos babilônios e assírios que para fazer suas moradias usavam argilas não cozidas, misturadas com fibras vegetais. Já os egípcios, pensando em construir obras faraônicas, deram inicio a utilização de argamassas de cal e gesso. Mas é com os romanos que surge o primeiro cimento, através de cinzas vulcânicas, argamassa a base de argila e cal.

Na época os romanos conseguiram construir obras inimagináveis que perduram até hoje, como exemplo, os aquedutos, basílicas, portos, etc. Mas, somente em 1824 que Joseph Aspdin conseguiu um componente importante do cimento, o clinquer, queimando a temperaturas elevadas, pedras calcárias e argila moída. Aspdin viu que esse produto permanecia rígido ao endurecer e que não se dissolvia na água. Portanto, ele nomeou de cimento Portland, por possuir cor e propriedades parecidas com às rochas da ilha britânica Portland.

A NBR 5732 (ABNT, 1991) define cimento Portland como:

> *Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem, é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos.*

Segundo Battagin (2011), existem basicamente oito tipos básicos de cimento Portland, normalizados, no Brasil. Eles se diferenciam de acordo com as suas características e com a proporção de clínquer, sulfatos de cálcio e produtos que podem ser adicionados no processo de moagem, como: pozolana, escória e filler calcário.

A tabela a seguir apresenta os tipos de cimentos normalizados no Brasil, com suas respectivas classes de resistência em MPa e componentes.

Tabela 1: Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classe	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clinquer + gesso	Escória	Pozolana	Filler Calcário
Comum	CPI	25,32,40	100	0	0	0
Comum com adição	CPI-S	25,32,40	99-95	1-5	1-5	1-5
Composto com Escória	CPII-E	25,32,40	94-56	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25,32,40	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Filler	CPII-F	25,32,40	94-90	0	0	6-10
Alto-Forno	CPIII	25,32,40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25,32	85-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	--	100-95	0	0	0-5
Resistente à Sulfatos	RS	25,32,40	(*)			
Baixo calor de Hidratação	BC	25,32,40				
Branco Estrutural	CPB	25,32,40	--	--	--	--

(*) A composição depende do tipo original do qual é derivado.
** Outro tipo de cimento branco também é produzido: Cimento Portland Branco Não Estrutural (CPB).

Fonte: Battagin, 2011

No presente trabalho, utilizamos o cimento Portland CPII-F para a moldagem dos corpos de prova, cimento este que é muito utilizado para aplicações gerais, como argamassas de assentamentos, revestimentos, e nos vários tipos de concreto.

2.3 AGREGADOS

Os agregados são responsáveis por grande influência nas propriedades do concreto, como: absorção d'água, porosidade, estabilidade, resistência mecânica e módulo de deformação. Com isso, o cuidado na seleção dos agregados é de grande relevância. O aumento do uso de concretos auto adensáveis nos últimos anos coloca em evidência que os agregados, principalmente os finos, tem na qualidade do concreto.

De acordo com Neto (2011), agregado é material granular, sem forma ou volume definido, de dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, em particular ao fabrico de

concreto e argamassas de cimento Portland.

De acordo com a norma 7211:2009, da ABNT, agregado para concreto deve ser composto por grãos de minerais duros, compactos, duráveis, estáveis, limpos e que não interfiram no endurecimento e hidratação do cimento e também na proteção contra corrosão da armadura.
Os agregados miúdos (areia) e agregados graúdos (brita) são usados na produção do concreto com às principais finalidades:

- Transmitir as tensões aplicadas ao concreto através dos grãos. Geralmente a resistência a compressão dos agregados é superior a da argamassa.

- Reduzir o efeito das variações volumétricas ocasionadas pela retração. Nessa lógica, quanto maior o teor de agregados em relação à pasta de cimento, menor será a retração.

2.4 ÁGUA

Conhecida como solvente universal, a água é fundamental na preparação do concreto, sendo ela o componente que lhe confere as propriedades requeridas para ele ter resistência e durabilidade, já que influencia diretamente no fator água/cimento.

Isaia (2011) diz que, no concreto fresco, a água é o agente que promove a diminuição do atrito por meio da película envolvente aos grãos, promovendo a aglutinação do agregado por intermédio da pasta de cimento. Dessa maneira, a água possibilita que, no estado plástico, o concreto possa ser produzido, transportado e colocado nas fôrmas, devido à sua trabalhabilidade sem que ele sofra segregação.

Para manter a qualidade do concreto, é necessário que a água seja potável. A existência de matéria orgânica, substâncias suspensas ou diluídas na água pode prejudicar a durabilidade da estrutura e alterar o início e o fim de seu tempo de pega. Ademais, o acréscimo da água é o meio mais efetivo para prevenir a fissuração prematura nas primeiras idades, através da cura.

2.5 ADITIVOS CRISTALIZANTES

O concreto é resistente à maioria dos ambientes existentes, mas em alguns casos como reservatórios, piscinas e obras de saneamento básico e obras offshore ele não apresenta a eficiência necessária. Isso ocorre devido a sua porosidade e aos grandes desgates gerados por agentes externos, como exemplo a colmatação da armadura do concreto armado em obras em alto mar. Visando então a eficiência e qualidade desse concreto, torna -se obrigatória a adoção de medidas que visem aumentar cada vez mais a vida útil das estruturas, proporcionando sua utilização dentro dos padrões de segurança e funcionalidade.

De acordo com esse contexto, o uso de aditivos cristalizantes surge como solução para tais problemas. O tratamento químico cristalizante, de acordo com Takagi, Júnior e Oliveira (2004) tem por objetivos impermeabilizar, proteger , aumentar a durabilidade do concreto, recuperar e reabilitar estruturas de concreto existentes. Os ingredientes ativos do tratamento químico cristalizante causam reações catalíticas que geram formações cristalinas dentro dos poros e capilaridades do concreto. Estas formações cristalinas tornam-se parte integrante da estrutura do concreto, levando ao aumento da impermeabilização, prevenindo a penetração de líquidos por pressões hidrostáticas positivas ou negativas.

Tagaki, Júnior e Oliveira (2004), nos apresenta que:

> *O tratamento químico cristalizante define-se como sendo um processo físico-químico que visa preencher as porosidades e capilaridades características da microestrutura do concreto, desencadeando um processo catalítico de formação de cristais não solúveis e não tóxicos numa profundidade mínima de 50 mm na estrutura do concreto, de modo a garantir que não haja a penetração de água por capilaridade, suportando pressões hidrostáticas tanto positivas como negativas de até 0,7 MPa. Os concretos tratados possuem características de resistência química ao ataques de substâncias com pH entre 3,0 e 11,0 existentes nos meios em que estarão em contato permanente, e ampliando esta faixa para pH 2,0 a 12,0 em contatos de até 48 horas, de modo a proteger a estrutura de concreto e inclusive as armaduras no que diz respeito à oxidação a partir da carbonatação e ataque de cloretos. Os tratamentos químicos cristalizantes cumprem as características de não toxidade, não comprometimento da potabilidade da água, dos lençóis freáticos e principalmente de não ataque aos componentes do concreto existente.*

Ainda de acordo com Takagi, Júnior e Oliveira (2004), a cristalização é baseada em sais de silicatos e na química dos argilominerais como agente catalisador, que tira vantagem das características inerentes do concreto. Através da difusão, os agentes catalisadores usam a água

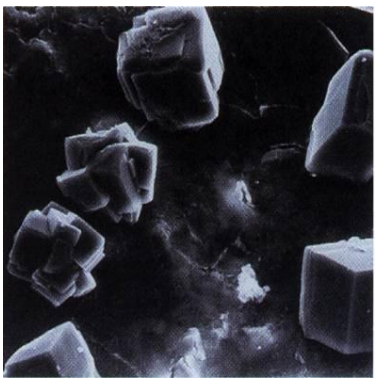
como meio de migração para entrar e permear o concreto, reagindo com os produtos químicos inertes presentes nos poros do concreto (hidróxido de cálcio, sais minerais, óxidos minerais e partículas de cimento não hidratadas e sub-hidratadas), sem provocar reações descontroladas, a fim de preservar os componentes da própria estrutura. Vale ressaltar que na ausência da água esses cristais ficam adormecidos, porém, como é um processo catalítico, pode-se tornar ativo sempre que houver a presença de água, mesmo depois da aplicação original.

2.5.1. REAÇÃO DE CRISTALIZAÇÃO

Ainda segundo Takagi, Júnior e Oliveira (2004), as reações que ocorrem no processo de cristalização são bem complexas, e são explicadas pela reação de hidratação do cimento com os catalisadores. Como o cimento Portland possui cerca de 330 kg de argilomineral em sua composição ele é altamente compatível com os catalizadores, facilitando a reação entre os mesmos.

Com a reação entre o argilomineral presente no cimento e os catalizadores, ocorre o processo de formação de cristais provocado nos poros e capilaridades do concreto, bloqueando as microfissuras e tornando o concreto impermeável contra a penetração de gases, água e outros líquidos. Segue abaixo, as imagens feitas por microscópio eletrônico de varredura.

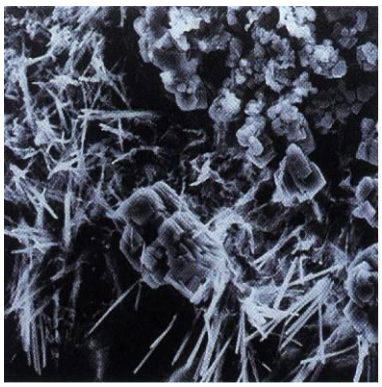
Figura 1: Concreto não tratado



Fonte: Takagi, Júnior e Oliveira (2004)

Na figura 1, mostra um corpo de prova secionado a 50 mm da superfície. Na seção mostra alguns subprodutos da hidratação do cimento utilizados pelo tratamento químico, também é possível observar precipitações de cristais de hidróxido de cálcio, com partículas cúbicas e rômbicas.

Figura 2: Inicio da cristalização



Fonte: Takagi, Júnior e Oliveira (2004)

A figura 2 mostra o estado do concreto com o início da formação dos cristais, após a aplicação do cristalizante.

Figura 3: Cristalização final

Fonte: Takagi, Júnior e Oliveira (2004)

Já a figura 3, exibe a foto dos cristais após 28 dias da aplicação. Nessa figura o processo de cristalização está em estado avançado, cristais densos foram formados nos poros e capilaridades do concreto, preenchendo seus vazios e protegendo-o da passagem de fluidos e de substâncias agressivas.

2.5.2. EXEMPLO DE OBRAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS

Estação de tratamento de esgotos Alegria, situada no Rio de Janeiro usou o tratamento químico cristalizante por pintura em 35.000 m² para a impermeabilização e proteção química em combate aos ataques dos efluentes a serem tratados nesta estação.

Figura 4: Estação de Tratamento de Esgoto Alegria

Fonte: Página da subsecretaria adjunta de gerenciamento de projetos do governo do RJ[1]

[1]Disponível em: http://www.egprio.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=480

Fábrica da General Motors situada em Indiana nos Estados Unidos, o tratamento químico cristalizante aspergido sobre o concreto fresco para proteger da ação de lubrificantes e aditivos de radiador, e aumentar a resistência à abrasão, o total da aplicação foi de 18.000 m².

Figura 5: Fábrica da General Motors

Fonte: Takagi, Júnior e Oliveira (2004)

O Stadium Australia construído para as Olimpíadas de 2000 em Sydney, utilizou 25.000 m³ dos 90.000 m³ dos concretos pré-moldados e moldados “in loco” aditivados com o tratamento químico cristalizante para impermeabilização e proteção das estruturas.

Figura 6: Stadium Australia

Fonte: Takagi, Júnior e Oliveira (2004)

3 METODOLOGIA E MÉTODOS

- Materiais: Cimento portland CPII F - 40, água, areia média, brita I e aditivo cristalizante.

- Local: Laboratório de Materiais de Construção – UFG

- Período: Março a Junho de 2019

3.2 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Para cumprir o objetivo desse trabalho, foram realizados três ensaios:

- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone "*slump test*" NBR NM 67, (ABNT 1998)

- Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos NBR 5739(ABNT 2018)

- Ensaio de tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos (spliting test) NBR 7222 (ABNT 2011)

Para os ensaios, os corpos de provas foram realizados de acordo com a NBR 5738 (2015). O traço do concreto utilizado nos corpos de prova foi de um concreto com fck de 30 MPa, definido por uma concreteira da região de Goiânia. No concreto, foram utilizado três aditivos cristalizantes diferentes sendo eles: VANDEX AM – 10, Xypex Admix C-500 NF e Penetron Admix FT 004. A proporção de aditivos no concreto foi de 1%.

Para o Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos NBR 5739, (ABNT, 2018), foram rompidos dois corpos de prova de cada concreto aos 28º e 56º dias. Para o Ensaio de resistência à tração do concreto NBR 7222 (ABNT 2011), o rompimento foi realizado no 56º dia. O número de corpos de provas feitos foi de 24 CPs.

3.3. ENSAIOS

3.3.1. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DE CONE

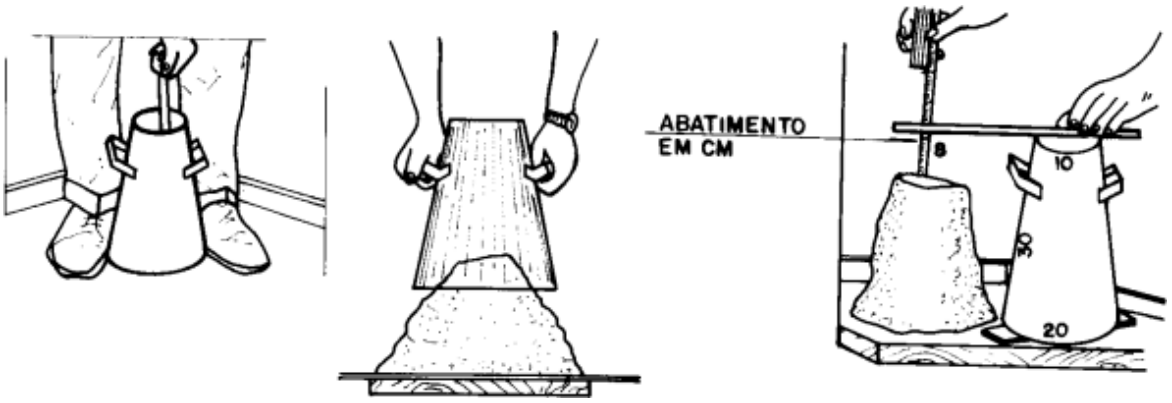
De acordo com Araujo, Rodrigues e Freitas (2000), define-se a consistência como o grau de fluidez da mistura fresca de concreto. Ela interfere diretamente na capacidade de moldagem dos corpos de prova. Essa propriedade está diretamente relacionada com o teor água/materiais secos. Ela pode ser classificada como:

Seco ou úmido: a relação água/materiais secos é entre 6% e 8%;
Plástico: a relação água/matérias secos é maior que 8% e menor que 11%;
Fluido: a relação água/materiais secos é alta, entre 11% e 14%.

Sendo a consistência grande influenciadora na trabalhabilidade do concreto fresco, realizamos o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone de acordo com a norma NBR NM 67, para verificar se o concreto com o uso de aditivos cristalizante influencia ou não na trabalhabilidade do concreto fresco.

Para inicializar o teste, segue-se a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998). Primeiramente umedecer o molde e a placa de base, colocá-lo com firmeza sobre a chapa. Em seguida preenchê-lo rapidamente com 3 camadas iguais de concreto, cada uma com 1/3 da altura do molde compactado, que devem ser socadas com 25 golpes com uma barra de ferro de 16 mm de diâmetro em cada camadass. Por fim, limpar a placa e levantar o molde do concreto cuidadosamente na direção vertical. Após a retirada do molde o abatimento do concreto é medido, conforme a figura 7.

Figura 7: Teste de abatimento do tronco de cone



Fonte: Araujo, Rodrigues e Freitas (2000)

3.3.2. ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS

"A resistência mecânica do concreto é a sua capacidade de resistir à tensão sem se romper" (MEHTA; MONTEIRO, 2008), sendo que o concreto deve ter a capacidade de resistir à compressão, tração, flexão e cisalhamento. Por conseguinte, a propriedade mais valorizada pelos projetistas estruturais é a resistência à compressão do concreto. Ela é muito utilizada para saber se ele está adequado à determinada estrutura, para saber se irá ou não suportar altas cargas. Além disso, "a simplicidade do ensaio, tanto para moldar os corpos de prova quanto para rompê-los, é outro ponto forte para a sua alta utilização." (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para isso, são moldados corpos-de-prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura com o concreto retirado da betoneira. Eles serão rompidos numa prensa em idades diferentes. A NBR 5739, Concreto – Ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2018), recomenda que sejam com 24 h, 3, 7, 28, 63 e 91 dias, no presente trabalho, rompemos aos 28 e 56 dias.

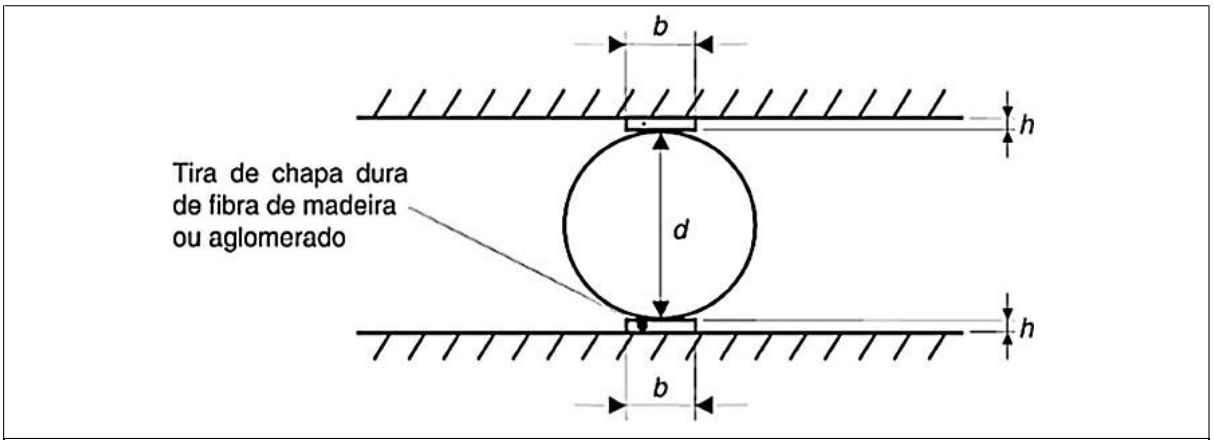
3.3.3. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA À TRAÇÃO DO CONRETO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Ensaio de resistência à tração do concreto por compressão diametral:

O ensaio de tração por compressão diametral é um método indireto para obtenção da resistência à tração do concreto, esse ensaio é realizado de acordo com o método da NBR 7222/2011, da ABNT. No ensaio é aplicada uma tensão de compressão na geratriz do cilindro, que é apoiado em duas chapas de madeira em contato com os pratos da prensa. O corpo de

prova fratura devido à tração desenvolvida em planos diametralmente opostos. Este ensaio foi desenvolvido pelo engenheiro Lobo Carneiro e é conhecido mundialmente como "Brazilian Test" – Ensaio Brasileiro (Engenheiros de FURNAS, 1997). A Figura abaixo ilustra o ensaio.

Figura 8: Esquema do ensaio brasileiro segundo à NBR 7222 (ABNT, 2011, p. 3)



Fonte: 9º Salão internacional de ensino, pesquisa e extensão

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulos iremos apresentar as análises e resultados dos ensaios que foram feitos para este trabalho.

4.1. PREPARAÇÃO DO CONCRETO

Para a execução dos ensaios, definimos um concreto de 30 MPa, para alcançar o objetivo e com as informações passadas pelo orientador deste trabalho definimos a quantidade de materiais utilizadas na moldagem do nosso concreto:

Tabela 2: Materiais utilizados na moldagem do concreto

Traço	
Material	Quantidade (kg)
Cimento	10,8
Areia	14,9
Água	5,4
Brita	20

Fonte : Autor

Para essa quantidade definida, foram feitos ensaios com 4 corpos de provas, um sem aditivo e outros três com o acrescimo de 1% de aditivo. Como ja dito, neste trabalho foi utilizado 3 aditivos diferentes, com o intuito de preservar a marca, iremos identificar os aditivos como 1, 2 e 3.

Com a quantidade definida de materiais obtivemos os seguintes resultados para o teste de slump:

Tabela 3 :Resultados do teste de Slump

Teste de Slump	
Aditivo	Altura(cm)
Sem aditivo	21
Aditivo 1	20
Aditivo 2	17
Aditivo 3	9

Fonte: Autor

Podemos notar uma grande variação no teste de slump para o aditivo número 3, essa diferença pode ser causada pela diferença do lote de areia, uma vez que todos os materiais foram pesados na mesma quantidade, acredita-se que a areia poderia estar mais umida que as demais usadas nos corpos de provas anteriores. Essa redução também pode ser explicada pelo próprio uso do aditivo, pois o mesmo tende a aumentar a consistência reduzindo o slump. Com isso, é necessário mais ensaios com esse aditivo para a melhor análise do caso.

Com o concreto pronto para cada aditivo, realizamos os 24 corpos de prova, sendo de dimensões 10 cm de diametro e 20 cm de altura.

Figura 9: Corpos de provas prontos para romper após o slump test e secagem

Fonte: Autor

4.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILINDRICOS.

Este ensaio foi feito no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Goiás. Para realização do ensaio foi utilizada a prensa hidráulica do proprio laborátorio.

Figura 10: Ensaio de resistência à compressão

Fonte: Autor

Para este ensaio, foi rompido um total de 16 corpos de prova, sendo oito corpos de prova rompidos ao 28º dia e os 8 restantes rompidos no 56º dia. Para o rompimento no 28º dia, foram utilizados 2 corpos de provas de cada traço. Para análise, foi escolhido o maior valor de resistencia para cada corpo de prova.

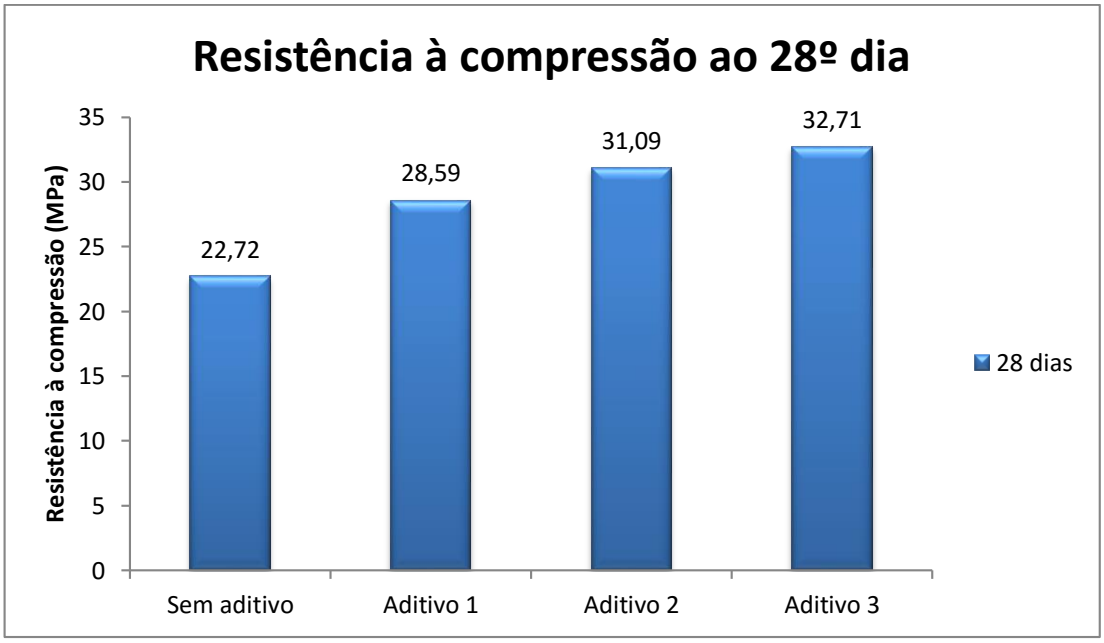
Realizando os ensaios, tivemos os seguintes resultados:

Tabela 4 :Resultados do ensaio de compressão ao 28º dia.

28 dias				
Aditivo	Rompimento (T)	Área (cm²)	Resistência (Mpa)	Aumento da resistência (%)
Sem aditivo	21,8	78,5	27,22	0%
1	22,9	78,5	28,59	5%
2	24,9	78,5	31,09	12%
3	26,2	78,5	32,71	17%

Fonte : Autor

Gráfico 1: Resistência à compressao no 28º dia.



Fonte: Autor

Analisando os resultados, nenhum aditivo influencio de forma negativa na resistência à compressão do concreto, tivemos um aumento de resistencia em todos os corpos de provas comparado ao corpo de prova sem aditivo. Sendo que o aditivo 3 apresentou os melhores resultados, com um aumento de 17% na sua resistencia em comparação ao corpo de prova sem aditivo. Mas lembrando que para o aditivo 3 é necessario mais ensaios por apresentar uma discrepancia no seu teste de slump.

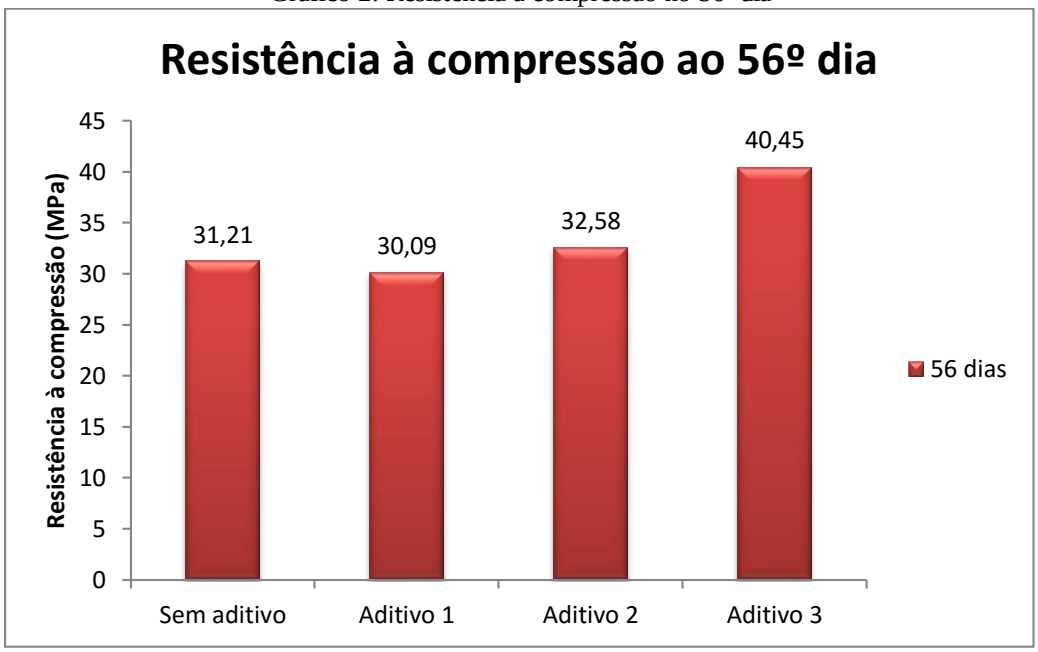
Assim como para o rompimento ao 28º dia, ao 56º dia usamos 8 corpos de prova, sendo dois para cada traço e escolhendo o maior resultado entre eles. Para o rompimento no 56º dia tivemos os seguintes resultados:

Tabela 5: Resultados do ensaio de compressão ao 56º dia.

Aditivo	Rompimento (T)	Área (cm²)	Resistência (Mpa)	Aumento da resistência (%)
Sem aditivo	25	78,5	31,21	0%
1	24,1	78,5	30,09	-4%
2	26,1	78,5	32,58	4%
3	32,4	78,5	40,45	23%

Fonte: Autor

Gráfico 2: Resistência à compressão no 56º dia

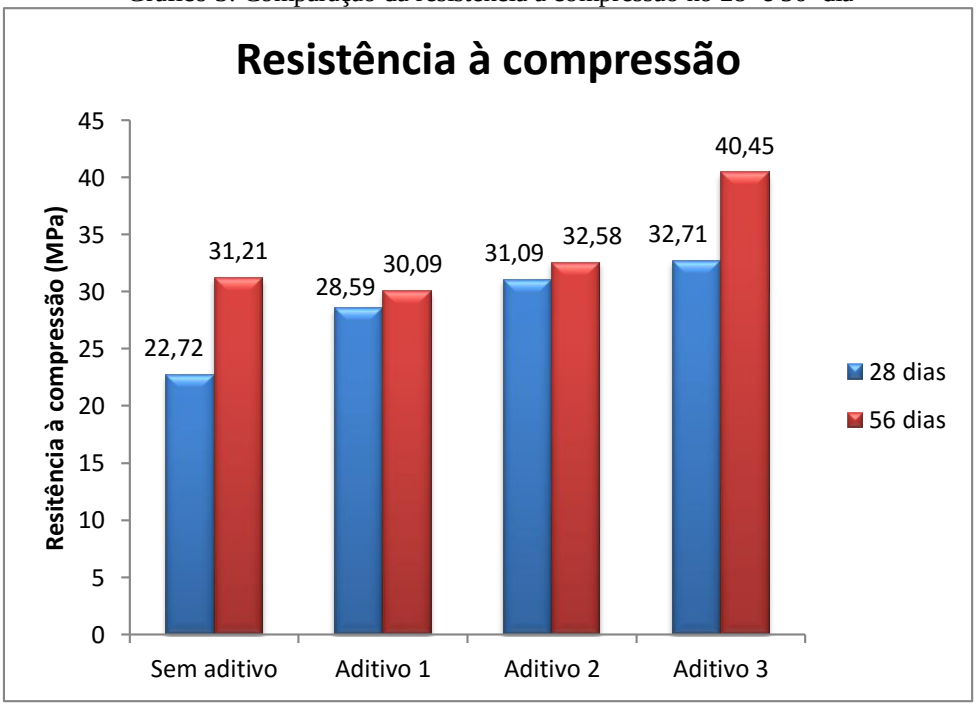


Fonte: Autor

Podemos notar que todos os corpos de prova tiveram um aumento de resistência comparado ao rompimento no 28º dia, porem, no 56º dia o aditivo 1 teve uma resistência menor do que o corpo de prova sem aditivo, não tendo influência positiva em sua resistência. Ao contrario do aditivo 1, os outros corpos de prova tiveram um aumento na resistência quando comparados ao corpo de prova sem aditivo, sendo que mais uma vez o aditivo 3 teve o maior aumento de resistência, chegando a 23% o aumento.

Para uma comparação entre os ensaio feitos no 28º dia e no 56º dia, fizemos os gráficos para melhor entendermos:

Gráfico 3: Comparação da resistência à compressão no 28º e 56º dia



Fonte: Autor

Mais uma vez podemos notar que a resistência continua aumentando ao 56º dia, sendo que no corpo de prova do aditivo 3, esse aumento é signifacativo, podendo ter uma resistencia maior nos dias seguintes à esse ensaio.

4.3. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONRETO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Para esse ensaio, utilizou-se pratos retangulares, e o corpo-de-prova foi colocado deitado, apoiado sobre uma fina tira de madeira, conforme a figura 11. Então, a prensa era ligada e, assim, obteve-se a força necessária em toneladas para romper o corpo-de-prova.

Figura 11: Corpo de prova na prensa hidráulica para o rompimento por compressão diametral

Fonte: Autor

Dessa maneira, o *fct* é obtido através da seguinte fórmula:

$$\mathrm{fct} = \frac{2\mathrm{F}}{\pi \mathrm{dl}} \qquad (1)$$

Onde: F = força máxima obtida no ensaio, em N;

d = diâmetro do corpo-de-prova, em mm;

l = comprimento do corpo-de-prova, em mm.

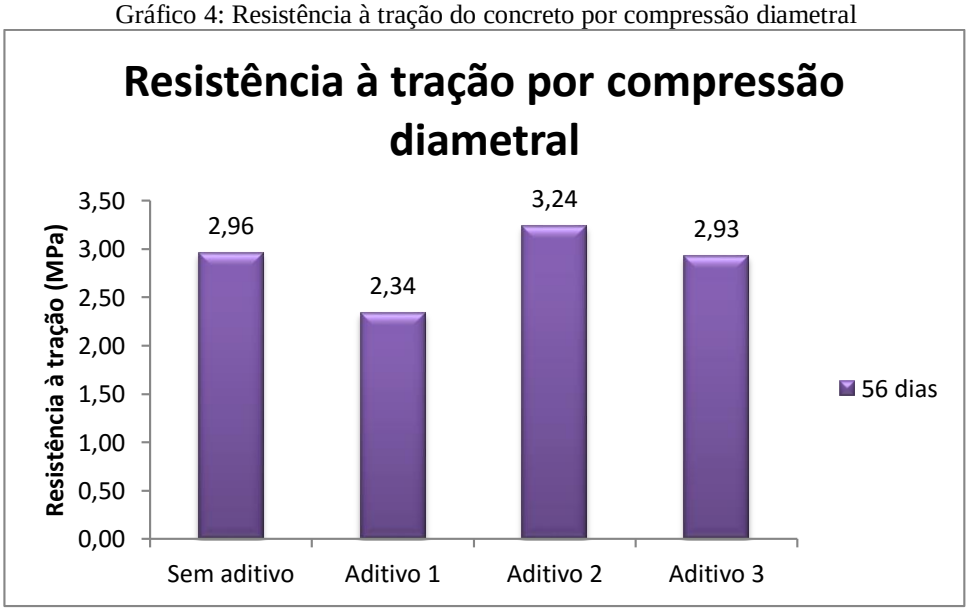
No ensaio foram rompidos 8 corpos de provas no 56º dia após a moldagem dos mesmos, na tabela abaixo obtivemos os resultados com o ensaio e utilizando a fórmula (1), fazendo as devidas correções de unidades, encontramos os valores das resistências à tração por compressão diametral (fct). Nela também há o ganho de resistência em porcentagem, sendo que esse valor foi calculado com base na maior leitura da resistência obtida para cada corpo de prova. Com esses resultados, construímos o Gráfico 4, que também utilizou sempre o maior valor obtido no rompimento dos dois corpos-de-prova.

Tabela 6: Determinação da resistência à tração por compressão diametral

56 dias				
Aditivos	Rompimento (T)	Área (cm²)	Resistência (Mpa)	Aumento da resistência (%)
Sem aditivo	9,5	78,5	2,96	0%
Aditivo 1	7,5	78,5	2,34	-27%
Aditivo 2	10,4	78,5	3,24	9%
Aditivo 3	9,4	78,5	2,93	-1%

Fonte: Autor

Gráfico 4: Resistência à tração do concreto por compressão diametral



Fonte: Autor

Obeserva-se que o uso dos aditivos 1 e 2 interferiu na resistência à tração do concreto, o aditivo 1 diminuiu a resistência em 27% que é um valor consideravel, já o aditivo 2 aumentou a resistência em 9%. Como rompemos apenas 2 corpos de provas com cada aditivo e pegamos o com maior resistência, deduzimos que possa ser uma anomalia essa redução significativa da resistência à tração no aditivo 1, as leituras podem ter sido aferidas erroneamente devido a inexperiência na realização do ensaio e devido a dificuldade de ajuste do corpo de prova nos pratos na prensa, sendo que os mesmos podem não ter ficado centralizados nos apoios de madeira como exige a norma NBR 7222/2011.

Outro problema pode ter sido os materiais que utilizamos no ensaio com esse aditivo ou a própria marca do aditivo que compromete essa resistência, porém para obtermos resultados eficazes necessitariamos de um estudo mais aprofundado sobre o caso. Uma outra observação

Figura 12: Preparação dos corpos de provas para o ensaio de tração

Fonte: Autor

Figura 13: Estilo de ruptura do corpo de prova no ensaio de tração por compressão diametral

Fonte: Autor

5. CONCLUSÃO

A pricipal função dos aditivos cristalizantes é a impermeabilização. Em catalogo os aditivos não nos fornece se eles afetam ou não a resistência do concreto, o que nos informa é o aumento da durabilidade. Mas como o processo de cristalização preenche os vázios do concreto, deduzimos que o concreto será mais resistente.

Analisando os resultados obtidos, podemos chegar a algumas conclusões, as quais são listadas abaixo:

1º) Os aditivos cristalizantes quando misturados ao concreto promove um aumento da consistência reduzindo o slump. Essa redução é mais significativa no aditivo 3 e esse fato pode prejudicar o lançamento e adensamento do concreto na obra.

2°) Pelos ensaios que fizemos, notamos que os aditivos cristalizantes aumentaram a resistência à compressão do concreto gradativamente. Somento o aditivo 1, na segunda idade (56º dias) teve uma redução com relação ao concreto sem aditivo, essa redução pode ser explicada pelos erros que podemos ter cometido na hora de moldar os corpos de provas ou até mesmo pelo lote de material utilizado.

3º) No ensaio de tração por compressão diametral notamos que os aditivos cristalizantes também intertefe na sua resistência. Por preencher os vázios do concreto, esperamos que a resistência seja aumentada, porém no aditivo 1 essa resistência teve uma queda significativa (27%) e no aditivo 2 um aumento considerável (9%). Como moldamos apenas 2 corpos de provas e utilizamos o com maior resistência, necessitariamos de um estudo mais aprofundado sobre o ensaio de tração para podermos concluir com melhor exatidão a interferência dos mesmos na resistência. Porém a própria marca do aditivo pode ter sido o fator diferencial, pois notamos que o aditivo 2 e 3 gerou resultados mais satisfatórios com relação ao aditivo 1.

4º) Para melhor analise desse assunto, é necessário novos ensaios com o aditivo numero 3, embora tenha apresentado resultados satisfatórios, os resultados não podem ser levados em consideração sem uma contra-prova, uma vez que seu slump deu uma diferença muito grande dos demais, e isso interferiu no ganho elevado de resistência à compressão, que também deveria elevador o ganho na resistência à tração, porém na resistência à tração houve uma leve queda no ganho. Portanto não podemos levar em consideração os dados obtidos com o aditivo 3, necessita-se de um estudo mais aprofundado sobre o mesmo.

6. CRONOGRAMA

CRONOGRAMA											
Atividade/mês	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
Levantamento de bibliografia											
Confecção de Introdução											
Coleta de Dados											
Envio ata de defesa TCC1											
Confecção de metodologia											
Realização dos ensaio											
Descrição de Resultados											
Análise de Dados											
Confecção de Discussão											
Confecção de Slides											
Apresentação TCC2											

7. REFERÊNCIASBIBLIOGRÁFICAS

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais – 2ª Ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

BRUNAUER; COPELAND. Scientific American Magazine, 1964.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto : ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 22.

ABNT. NBR 5739 :2007 Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 14, 2007.

ABNT. NBR 9778: 1987 Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987

ABNT. NM 67: 1998 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998

XYPEX: MC-BAUCHEMIE. Cristalizante para impermeabilização de estruturas. p. 1–5, 2016.

JANTSCH, A. C. A. Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes. p. 142, 2015.

LUIZA, A. N. A.; OLIVEIRA, A. D. E. A influência do aditivo cristalizante nas propriedades do concreto fresco e endurecido. 2014.

ABNT. NBR 7222: 2011 Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração do

concreto por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011

ABNT. NBR 11768, Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. NBR 7222, Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de provas cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT. NBR 7215, Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT. NBR 5738, Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de- prova. Rio de Janeiro, 2003.

TAKAGI,E.M.;JÚNIOR,W.A.;OLIVEIRA,F.S.Tratamento Químico Cristalizante para Impermeabilização e Proteção de Estruturas de Concreto Armado. In: 46 Congresso Brasileiro do Concreto – Ibracon, Florianópolis, Brasil, 2004.