

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

FELIPE GUIMARÃES DE SOUZA MELO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

FELIPE GUIMARÃES DE SOUZA MELO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO**

Monografia, na área de materiais de construção,
apresentado como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel, da Coordenação do Curso de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe –
Campus Aracaju.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Carla Cristina Nascimento
Santos Pereira.

ARACAJU

2017

Dedico, primeiramente, este trabalho à Deus pela força e a capacidade concedida e aos meus familiares que fazem todo o possível e o impossível para me encorajar nesta caminhada em busca do conhecimento.

Tente mover o mundo – o primeiro
passo será mover a si mesmo.

- Platão

RESUMO

MELO, Felipe Guimarães de Souza. **Análise da influência do tempo de cura na resistência à compressão do concreto**. 60 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

O concreto é um material com um vasto uso na construção civil devido à sua capacidade e versatilidade, utilizado em obras de pequeno porte até construções grandiosas, além de ser comumente o principal elemento estrutural das construções. Para atingir as principais propriedades exigidas dos componentes estruturais, durabilidade e resistência, o seu processo de confecção deve atender diversas etapas, sendo uma delas o processo de cura. Entretanto, em paralelo a isso observa-se na prática a negligência no procedimento de cura do concreto. Com isso o presente trabalho, através de análises laboratoriais, busca verificar e analisar a interferência desse processo de cura nas resistências à compressão de diferentes tipos de concreto. Partindo desse pressuposto definiu-se a metodologia de cura através de levantamentos dos procedimentos executados em campo e comparou-se com um procedimento executado em laboratório. Essa comparação se deu em diferentes tipos e traços de concretos que foram analisados primeiramente em relação às propriedades do estado fresco e depois os resultados obtidos das resistências à compressão das amostras curadas com durações diferentes de tempo. Podendo-se constatar através das observações que o concreto curado com uma duração de tempo reduzida resulta em uma perda da capacidade de resistência à compressão se comparado com aquele curado durante 28 dias.

Palavras-chave: Construção Civil, Concreto, Tempo, Cura, Resistência à compressão, Propriedades.

ABSTRACT

MELO, Felipe Guimarães de Souza. **Analysis of the influence of curing time on the compressive resistance of concrete**. 60 pages. Monograph (Bachelor's Degree of Civil Engineering) – Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe - Campus Aracaju 2017.

Concrete is a material with a wide use in the civil construction due to its capacity and versatility, used in works of small size until great constructions, besides being commonly the main structural element of the constructions. In order to achieve the main required properties of the structural components, durability and strength, its manufacturing process must meet several stages, one of them being the curing process. However, in parallel to this, negligence in the concrete curing procedure is observed in practice. With this, the present work, through laboratory analysis, seeks to verify and analyze the interference of this curing process in the compressive resistance of different types of concrete. Based on this assumption, the curing methodology was defined through surveys of the procedures performed in the field and compared with a procedure performed in the laboratory. This comparison took place in different types and traces of concretes that were first analyzed in relation to the properties of the fresh state and then the obtained results of the compressive resistance of the cured samples with different durations of time. It can be seen from the observations that cured concrete with a reduced time duration results in a loss of compressive resistance compared to that cured for 28 days.

Keywords: Civil Construction, Concrete, Time, Curing, Compressive resistance, Propriety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva de Abrams- relação água/cimento x resistência	15
Figura 2: Representação esquemática da liberação de calor (A) e a concentração de Ca^{2+} em solução (B) durante a hidratação do cimento Portland. Indicações das etapas das reações: (I): Estágio inicial; (II): Período de indução; (III): Período de aceleração; (IV): Período de desaceleração; (V): Estágio final.....	20
Figura 3: Modelo de Diagrama de Dosagem dos concretos do Método IPT/EPUSP.....	22
Figura 4: Questionário sobre os procedimentos de cura do concreto.....	29
Figura 5: Cura em tanque com água saturada em cal.....	30
Figura 6: Cura ao ar livre pelo procedimento de molhagem.....	31
Figura 7: Ensaio de abatimento do tronco de cone.	36
Figura 8: Ensaio do tronco de cone modificado.....	37
Figura 9: Moldagem e desforma dos corpos de prova cilíndricos de concreto.....	39
Figura 10: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto.....	40
Figura 11: Chuva acumulada em 24 horas no mês de abril.	54
Figura 12: Chuva acumulada em 24 horas no mês de maio.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores do desvio padrão para cálculo da resistência aproximada	25
Tabela 2: Traço do concreto dosado por empresa especializada	32
Tabela 3: Traço do concreto convencional IPT	32
Tabela 4: Traço do concreto com alto consumo de cimento e utilização de maetacaulim	32
Tabela 5: Traço do concreto pobre IPT	33
Tabela 6: Resultados da caracterização do cimento Nacional	33
Tabela 7: Caracterização do agregado miúdo	34
Tabela 8: Resultados da caracterização da massa unitária do agregado graúdo.....	35
Tabela 9: Resultados da caracterização da massa específica do agregado graúdo.	35
Tabela 10: Traços e resultados dos ensaios em estado fresco dos concretos.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado do ensaio de abatimento por tipo de concreto.....	42
Gráfico 2: Resultado da velocidade de abatimento por tipo de concreto.....	42
Gráfico 3: Proporção de agregado por tipo de concreto	43
Gráfico 4: Teor de argamassa seca por tipo de concreto.....	43
Gráfico 5: Teor de água por tipo de concreto.....	44
Gráfico 6: Consumo de cimento por tipo de concreto.....	45
Gráfico 7: Teor de aditivo por tipo de concreto.	45
Gráfico 8: Correlação entre o abatimento e teor de água.....	46
Gráfico 9: Correlação entre o abatimento e teor de aditivo.	47
Gráfico 10: Correlação entre o abatimento e o consumo de cimento	48
Gráfico 11: Correlação entre a velocidade de abatimento e a proporção de agregado	49
Gráfico 12: Correlação entre a velocidade de abatimento e o consumo de cimento.	50
Gráfico 13: Correlação entre a velocidade de abatimento e o teor de água.....	51
Gráfico 14: Resultado da resistência à compressão do concreto dosado por empresa especializada.	52
Gráfico 15: Resultado da resistência à compressão do concreto convencional- IPT.	53
Gráfico 16: Resultado da resistência à compressão do concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulim	55
Gráfico 17: Resultado da resistência à compressão do concreto pobre-IPT.....	56
Gráfico 18: Comparação entre os resultados das resistências à compressão dos concretos.....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 CONCRETO	14
3.1.1 Componentes do Concreto.....	14
3.1.1.1 Cimento	14
3.1.1.2 Agregados	14
3.1.1.3 Água	15
3.1.2 Propriedades do concreto fresco	16
3.1.2.1 Trabalhabilidade.....	16
3.1.2.2 Consistência	16
3.1.2.3 Coesão	16
3.1.2.4 Segregação	17
3.1.2.5 Exsudação	17
3.1.3 Propriedades do concreto endurecido	17
3.1.3.1 Resistência do concreto.....	17
3.1.3.2 Permeabilidade.....	18
3.2 HIDRATAÇÃO DO CIMENTO	19
3.3 MÉTODO DE DOSAGEM IPT/EPUSP	21
3.3.1 Metodologia do método de dosagem IPT/EPUSP	21
3.3.2 Parâmetros da mistura	22
3.4 CURA DO CONCRETO	26
3.4.1 Tipos de Cura do concreto	27
3.4.1.1 Cura úmida	27
3.4.1.2 Cura por alagamento	27
3.4.1.3 Cura por molhagem.....	28
3.4.1.4 Cura com estopa	28
3.4.1.5 Cura com terra.....	28
3.4.1.6 Cura com materiais selantes.....	28
4. METODOLOGIA	29

4.1 DETERMINAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE CURA.....	30
4.1.1 Tipos de Cura do concreto	30
4.1.1.1 Amostra I.....	30
4.1.1.2 Amostras II e III	30
4.2 TRAÇOS DOS CONCRETOS	31
4.2.1 Concreto dosado por empresa especializada.....	31
4.2.2 Concreto convencional IPT.....	32
4.2.3 Concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulim	32
4.2.4 Concreto pobre IPT	33
4.3 MATERIAIS	33
4.3.1 Cimento.....	33
4.3.2 Areia.....	34
4.3.2 Brita.....	35
4.4 ENSAIOS.....	35
4.4.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone.....	35
4.4.1.1 Aparelhagem	36
4.4.1.2 Procedimentos	36
4.4.2 Velocidade de abatimento	36
4.4.2.1 Aparelhagem	37
4.4.2.2 Procedimentos	37
4.4.3 Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos	38
4.4.3.1 Aparelhagem	38
4.4.3.2 Procedimentos	38
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	41
6. CONCLUSÃO	58
7. BIBLIOGRAFIA.....	59

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material composto de aglomerantes, agregados, aditivos e água, que possui uma grande utilização na indústria da construção civil. Isso acontece devido à sua capacidade de adquirir formas diferentes, sua boa resistência mecânica e baixo custo econômico aliado à fácil disponibilidade dos seus componentes. Para a perfeita produção do concreto é necessário cumprir diversas etapas fundamentais para a obtenção de um material que alcance as propriedades desejadas, no estado fresco e no estado endurecido. Uma das fases da confecção do concreto é processo de cura, que consiste em manter o concreto com uma umidade satisfatória para que não haja perda excessiva de água do elemento concretado, garantindo a hidratação dos componentes do cimento. Existem diversas maneiras para a correta execução da cura em concretos, estas são escolhidas mediante alguns fatores particulares de cada estrutura de concreto, por exemplo, clima, fatores econômicos, logística, etc.

A falta de compromisso com o processo de cura, *in loco*, traz consequências na formação da microestrutura do concreto, que se torna frágil, implicando em uma matriz mais vulnerável. Decorrente a isto, a superfície do concreto apresenta uma maior probabilidade de degradação e, principalmente, o concreto não atinge seu potencial máximo de resistência. E essa resistência do concreto é uma propriedade de grande importância, sendo necessário o seu conhecimento para uma correta utilização do material em estruturas de edificações, passarelas, pontes, estradas, dentre outros elementos construtivos.

Sabendo-se da importância do processo de cura nas propriedades do concreto e aliado ao descuido de tal processo na construção civil, o presente trabalho tem a finalidade de analisar a interferência da metodologia e do tempo de cura na resistência à compressão em diferentes traços de concretos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o comportamento das propriedades do concreto submetido a diferentes métodos e tempos de cura.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a resistência à compressão de corpos de prova de concreto em diferentes amostras, submetidas às condições distintas de tempos de cura;
- Estudar os distintos parâmetros de mistura dos diferentes concretos dosados;
- Avaliar o abatimento dos diferentes tipos de concretos produzidos;
- Verificar a velocidade de abatimento dos diferentes tipos de concretos executados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONCRETO

O concreto é um material formado da aglomeração de agregados graúdos e agregados miúdos, da mistura de cimento e água e, eventualmente, aditivos. Quando recém misturado deve oferecer condições de plasticidade que facilitem as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirindo, com o tempo, através das reações que se processarem entre aglomerante (cimento) e água, coesão e resistência.

3.1.1 Componentes do Concreto

3.1.1.1 Cimento

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, que resulta da moagem do clínquer - produto granulado obtido da queima em forno rotativo de uma mistura de calcário e argila -. Os silicatos e aluminatos de cálcio que constituem o cimento ao se misturarem com água hidratam-se, produzindo assim o endurecimento da massa, o que pode causar elevada resistência mecânica.

3.1.1.2 Agregados

Segundo Petrucci (1998), entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia.

São agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações das rochas.

Os agregados são divididos em alguns tipos de classificação, mas a mais importante para a construção civil é em virtude do seu tamanho, que os classificam em agregado miúdo e agregado graúdo.

Define-se agregado miúdo como aqueles grãos que passam na peneira de abertura de 4,8 mm, já o agregado graúdo aquele que fica retido na peneira de abertura de 4,8 mm.

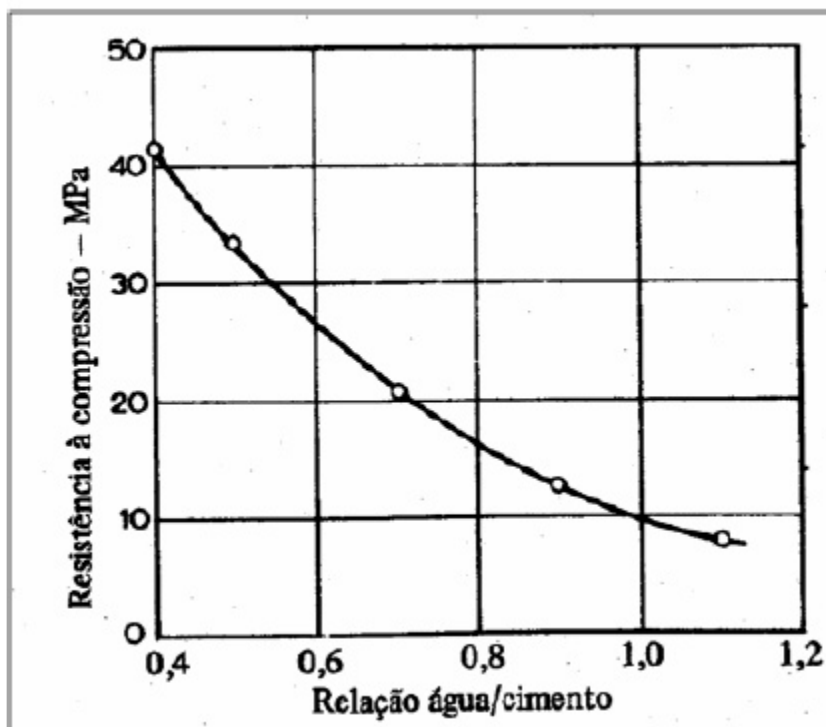
3.1.1.3 Água

A água de amassamento do concreto deve ser livre de impurezas, porque essas impurezas podem interferir na pega do cimento, diminuir a resistência do concreto, podendo ainda causar à corrosão das armaduras dos concretos armados. Por isso a qualidade da água utilizada na preparação do concreto deve ser verificada.

A razão entre a quantidade de água acrescida e a quantidade de cimento utilizada na produção do concreto é muito importante para determinar a sua resistência final.

Em 1919 Abrams publicou um trabalho demonstrando que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta endurecida, as quais eram função da relação água/cimento da mistura, conforme mostra a figura 1.

Figura 1: Curva de Abrams- relação água/cimento x resistência



Fonte: Branco e Pretti (2012)

3.1.2 Propriedades do concreto fresco

Concreto fresco é quando a pasta ainda estiver no estado fluído ou plástico e podendo ser trabalhada.

3.1.2.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma propriedade de difícil conceituação, pois envolve uma gama de outras propriedades, sendo que as principais são: consistência, coesão, segregação e exsudação.

Para Metha e Monteiro (2008), a trabalhabilidade do concreto fresco determina a facilidade com a qual um concreto pode ser manipulado sem segregação nociva.

Segundo Ferreira (2004), a trabalhabilidade é a propriedade que apresenta um material de ser facilmente preparado e aplicado em obra.

3.1.2.2 Consistência

NEVILLE e BROOKS (2013) definem consistência como a resistência da forma de uma substância ou facilidade com que ela flui.

“A consistência é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco e pode ser medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone”. - METHA e MONTEIRO, 2008 -

3.1.2.3 Coesão

A coesão é a propriedade necessária à estabilidade do concreto, ou seja, o concreto não deve segregar nem sofrer exsudação para ser um concreto coeso. A não ocorrência da segregação e da exsudação é essencial para a obtenção de um bom adensamento do concreto.

A coesão do concreto é obtida quando juntamente com os agregados são adicionados materiais finos e microfinos como, cimento, finos de britagem, escórias, cinzas.

3.1.2.4 Segregação

A segregação é entendida como a separação dos constituintes da mistura, gerando a obtenção de um concreto de má uniformidade, apresentando espaços vazios superficiais ou profundos, ou aglomeração de agregado graúdo sem o envolvimento da argamassa. Suas causas primárias podem ser controladas pela escolha adequada da granulometria e pelo cuidado em todas as operações até o adensamento.

De acordo com NEVILLE e BROOKS (2013), existem duas formas de segregação. A primeira forma de segregação acontece quando as partículas maiores tendem a se separar já que elas deslizam em superfícies inclinadas ou se assentam mais que as partículas mais finas. A segunda forma de segregação, que ocorre principalmente em misturas com excesso de água, é manifestada quando ocorre a separação da pasta (cimento e água) do resto da mistura. Com algumas granulometrias, quando uma mistura pobre é utilizada, a primeira segregação ocorre se a mistura é muito seca, mas quando a mistura se torna muito úmida, pode ocorrer a segunda forma de segregação.

3.1.2.5 Exsudação

Ocorre quando há a separação da pasta (cimentos, finos e água) do resto do concreto, a pasta que se separou do resto da mistura tende a migrar para a superfície do concreto recém-lançado. A exsudação ocorre porque os constituintes sólidos da mistura não conseguem reter toda a água de amassamento quando eles se assentam.

A quantidade e a velocidade da exsudação dependem da dosagem do concreto, do teor de água, da temperatura, da finura do cimento, da granulometria do agregado e da ação de certos aditivos.

3.1.3 Propriedades do concreto endurecido

3.1.3.1 Resistência do concreto

Segundo NEVILLE e BROOKS (2013), a resistência do concreto, normalmente, é classificada como a propriedade mais importante, embora, em muitas situações práticas, outras características, como durabilidade, impermeabilidade e

estabilidade de volume podem ser de fato mais importantes. No entanto, a resistência normalmente dá uma ideia geral da qualidade do concreto, por estar diretamente ligada à estrutura da pasta de cimento.

O concreto resiste muito bem ao esforço de compressão e mal ao esforço de tração. Sua resistência à tração é da décima parte da resistência à compressão.

A resistência a compressão do concreto (f_c) é fundamental no projeto de estruturas, ela pode ser obtida através do ensaio de corpos de prova (CP's) moldados com o concreto. No ensaio de compressão de corpo de prova eles são submetidos a uma carga crescente que produza esforços de compressão distribuídos em toda a seção transversal, até o máximo que possa resistir. O ensaio de moldagem de corpo de prova é regido pela NBR 5738/2015, já o ensaio de compressão de corpo de prova segue a NBR 5739/2007.

O valor da tensão de ruptura à compressão (f_c) é dado pela expressão:

$$f_c = P/A \quad \text{Equação 1.}$$

onde,

P = carga de ruptura

A = área do corpo de prova.

3.1.3.2 Permeabilidade

Pela sua própria composição o concreto é necessariamente um material poroso, pois não é possível preencher todos os espaços vazios dos agregados.

Segundo Petrucci (1998), as razões para essa porosidade são várias, como: a) é sempre necessário utilizar uma quantidade de água superior à que se precisa para hidratar o aglomerante, e essa água, ao evaporar, deixa vazios; b) com a combinação química, diminuem os volumes absolutos do cimento e água que entram em reação; c) inevitavelmente, durante a mistura do concreto, incorpora-se ar à massa.

A existência desses vazios deixa o concreto suscetível a entrada de água e agentes atmosféricos que podem ser deletérios ao concreto, por isso a permeabilidade é considerada uma das principais propriedades do concreto.

3.2 HIDRATAÇÃO DO CIMENTO

A reação química do cimento com a água é denominada de hidratação, resultando em produtos que possuem características de pega e endurecimento. As reações químicas que ocorrem são geralmente mais complexas do que simples conversões entre compostos anidros e hidratos.

A água dissolve as espécies químicas constituintes do cimento, até a saturação, proporcionando consistência à suspensão (início de pega), que evolui até o enrijecimento (fim de pega), chegando ao endurecimento (ganho de resistência) de forma acentuada. O endurecimento é o resultado das transformações do cimento anidro, através de reações químicas associadas a um mecanismo de reação, a uma cinética de reação, e esta vinculada à reatividade do produto e a condições de pressão e de temperatura.

Brunauer e Copeland descrevem que a química do concreto é essencialmente a química da reação entre o cimento Portland e a água, destacando a importância do conhecimento sobre as espécies químicas formadas quando o cimento Portland reage.

A hidratação do cimento Portland se dá através de dois mecanismos:

a) Dissolução-precipitação: resume-se em dissolução de compostos anidros em seus constituintes iônicos, a formação de hidratos em solução seguida de precipitação de hidratos resultantes da solução supersaturada.

b) Topoquímico: as reações acontecem diretamente na superfície dos compostos do cimento anidro sem que os compostos entrem em solução, e se completa com o tempo, desde que haja contato do cimento com a água.

Vale ressaltar que para o concreto a difusão da umidade ambiente governará as reações, sendo dependente da porosidade da pasta.

Logo após o cimento ser misturado com água ocorre uma troca de espécies iônicas entre os sólidos e a fase líquida, seguida pelo aumento da concentração de aluminatos, sulfatos e álcalis (sódio, potássio e cálcio) na fase líquida, este aumento é resultado da solubilidade dos constituintes do clínquer, como:

- Silicato de cálcio;

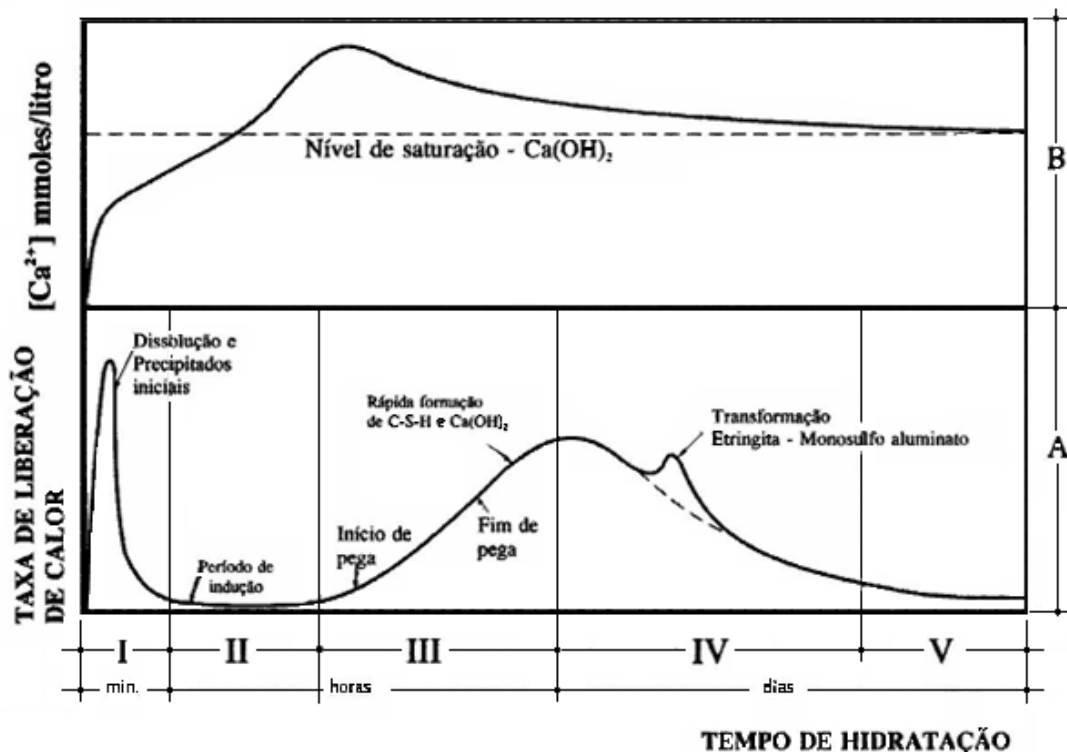
- Aluminatos de cálcio;
- Sulfato de cálcio;
- Sulfatos alcalinos.

A solubilidade é diferenciada e, em consequência, as fases do clínquer hidratam-se em momentos diferentes, sendo, por isso mesmo, um sistema complexo.

O grau de hidratação do cimento pode ser acompanhado por meio da determinação dos teores das fases anidras e hidratadas, pela determinação do teor de água quimicamente combinada, pela determinação da concentração iônica na fase aquosa e pela evolução do calor liberado pelas reações de hidratação.

Por isso a cinética de hidratação pode ser acompanhada por meio da determinação da taxa de liberação de calor gerado pelas reações químicas, conforme ilustrado na Figura 2, a partir do perfil da curva de evolução de calor do cimento Portland.

Figura 2: Representação esquemática da liberação de calor (A) e a concentração de Ca^{2+} em solução (B) durante a hidratação do cimento Portland. Indicações das etapas das reações: (I): Estágio inicial; (II): Período de indução; (III): Período de aceleração; (IV): Período de desaceleração; (V): Estágio final.



Fonte: (JAWED, SKALNY, YOUNG, 1983 e ZAMPIERI, 1989, apud QUARCIONI, 2008)

A reação se completa com o tempo, desde que haja contato com a água, e fim da hidratação é atingido quando os grãos de cimento se hidratarem por completo ou quando não existir mais água para ocorrer reações de hidratação.

3.3 MÉTODO DE DOSAGEM IPT/EPUSP

O método de dosagem do IPT/EPUSP foi desenvolvido na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) a partir de uma atualização da versão inicial desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Ele também é conhecido como método Helene & Terzian (1993), devido à grande colaboração e aprimoramento de vários pesquisadores e por ser conhecido em âmbito nacional. Atualmente o método foi denominado como Método IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto. Este método é um dos mais utilizados no país, devido principalmente, à vasta gama ou extensão de traços que podem ser obtidos, já que o produto final do método é um diagrama, mais conhecido como “Diagrama de Dosagem”.

3.3.1 Metodologia do método de dosagem IPT/EPUSP

O método consiste inicialmente em produzir uma mistura ideal dos materiais que compõem o concreto (cimento, areia, brita e água), de acordo com uma proporção de agregados (m), sendo esta considerada como piloto. Tal proporção será igual a 5 (cinco), ou seja, para se ajustar qualquer traço se recomenda $m = 5$. O concreto confeccionado a partir dessa dosagem deve ser misturado com a ajuda de uma betoneira (própria ou alugada), até que se ajuste primeiramente o teor de argamassa, ou seja, o parâmetro de mistura teor de argamassa seca ($\alpha(\%)$). A determinação do teor de argamassa ótimo, para cada mistura de materiais, é realizada através de ensaios qualitativos realizados com a colher de pedreiro. Depois de encontrado o teor de argamassa ótimo, deve – se ajustar o teor de água (ou teor de água e aditivos, se necessário) pela relação água/materiais secos (H%) através do ensaio de abatimento de tronco de cone.

Após realizados os ajustes destes dois parâmetros de mistura, e lançando-se mão da lei de Lyse comentada anteriormente, faz – se a produção de no mínimo dois traços em laboratório, sendo estes conhecidos como “Traço rico” e “Traço pobre”. Após obtida a resistência média de dois exemplares, além de determinados os

parâmetros de consumo de cimento (C ou Φ), relação água/cimento (a/c) e proporção de agregados (m), traça-se um diagrama de dosagem com no mínimo três quadrantes, como exposto na figura 3.

Onde:

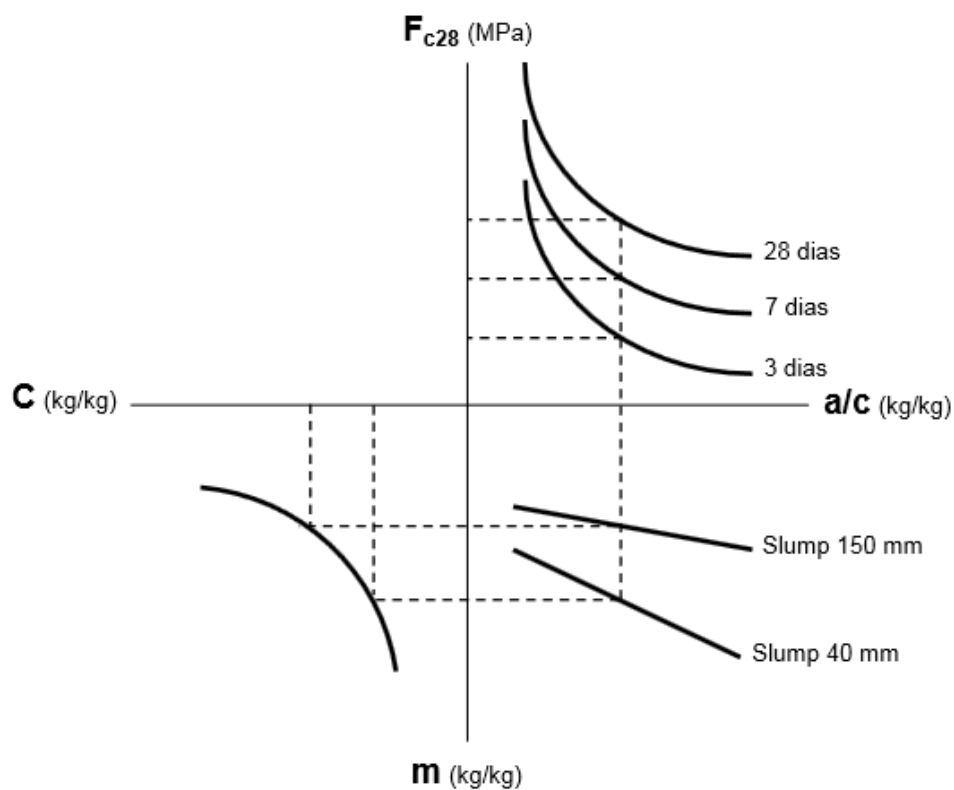
f_{cj}^1 = Resistência à compressão axial em Mpa, à idade j (dias);

m = relação agregado/cimento, em massa (kg/kg);

a/c = relação água/cimento

C = consumo de cimento em kg/m³ de concreto.

Figura 3: Modelo de Diagrama de Dosagem dos concretos do Método IPT/EPUSP.



Fonte: Souza (2015)

O valor de f_{cj} é encontrado a partir do rompimento dos corpos de prova moldados, aos quais foram ajustados o α (%) e o H % a partir do método de dosagem adotado.

3.3.2 Parâmetros da mistura

Os parâmetros de mistura são aqueles utilizados para que se alcance os objetivos principais de dosagem, ou seja, as relações ideais entre os materiais empregados, cimento, areia, agregados e água. Estes parâmetros proporcionam que se

obtenha propriedades ótimas do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

A combinação da determinação adequada dos materiais a serem empregados no concreto pode ser chamada de Dosagem. A dosagem consiste na busca pelas características desejadas, como também do menor custo possível para que se fabrique o concreto. Com a dosagem deseja-se obter um concreto de ótima qualidade, apresentando boa consistência, trabalhabilidade, resistência e coesão. Mas para que isto aconteça é necessário o conhecimento de parâmetros importantíssimos responsáveis pelas principais características do concreto, como é o caso da relação água/cimento (a/c), a proporção dos agregados (m), o teor de argamassa seca (α %) e a relação água materiais secos (H%).

a) Relação água/cimento (a/c)

A relação a/c é o resultado da divisão entre a quantidade de água pela quantidade de cimento estabelecida no traço. Este tipo de expressão é visivelmente encontrada na prática dos canteiros de obras. A expressão pode ser representada da seguinte forma:

$$\frac{a}{c} \text{ ou } x = \frac{\text{Quantidade de água}}{\text{Quantidade de cimento}} \quad \text{Equação 2.}$$

Esta relação é a única que domina a resistência à compressão e as demais resistências mecânicas do concreto, ou seja, quanto maior é a relação a/c, normalmente menores resistências mecânicas são encontradas. Essa relação também é importante com relação a durabilidade do concreto, pois, quanto maior esta relação, maior também é o grau de porosidade e consequentemente mais facilmente os agentes agressivos terão acesso ao concreto, acarretando em deterioração mais rápida ao mesmo.

b) Proporção de agregados (m)

A proporção de agregados pode ser definido como sendo a soma das proporções dos agregados graúdos e miúdos. Este pode ser obtido quando se divide a massa dos agregados respectiva, pela massa do cimento, podendo ser representada pelas equações:

$$a = \frac{\text{Quantidade de areia}}{\text{Quantidade de cimento}} \quad \text{Equação 3.}$$

$$p = \frac{\text{Quantidade de brita}}{\text{Quantidade de cimento}} \quad \text{Equação 4.}$$

Com os valores de “a” e “b” encontra – se a proporção de agregados a partir da equação

$$m = a + p \quad \text{Equação 5.}$$

Comumente o “m” fica evidenciado também na configuração do traço de concreto, sendo representado da seguinte forma:

$$1: a: p: \frac{a}{c} \text{ ou } x \quad \text{Equação 6.}$$

Sendo estes, como dito anteriormente:

1 - A proporção de cimento

a – Proporção de areia

p – Proporção de brita

a/c ou x – Relação água/cimento

c) Teor de argamassa seca ($\alpha\%$)

O teor de argamassa seca ou $\alpha\%$ é a relação entre a proporção de cimento somada à proporção de areia dividido pela proporção de cimento somado às de areia e brita. Como já comentado anteriormente, o $\alpha\%$ é fundamental em se tratando de concreto bombeável e cobrimento das armaduras no concreto armado. A equação que expressa $\alpha\%$ está descrita a seguir:

$$\alpha(\%) = \frac{(1+a)}{(1+m)} \times 100 \quad \text{Ou} \quad \alpha(\%) = \frac{(1+a)}{(1+a+p)} \times 100$$

Equação 7.

Onde,

$\alpha(\%)$ = teor de argamassa seca;

m = Proporção de agregados;

a = Proporção de areia;

1 = Proporção de cimento

p = Proporção de brita

O método IPT/EPUSP preconiza que independente do traço ou resistência requerida no concreto, existe um teor ideal de argamassa “α%” para o concreto.

d) Relação água/materiais secos (H%)

A relação água/materiais (H%) expressa a relação entre a/c e as proporções de materiais secos (1, a e p). Essa relação atua diretamente na consistência do concreto, assim, quanto maior o H (%) maior a fluidez do concreto. Esta relação pode ser expressa pela seguinte equação:

$$H (\%) = \frac{\frac{a}{c} \text{ ou } x}{1 + a + p} \times 100$$

Equação 8.

e) Resistência de Dosagem (f_c)

Pode ser calculada pela expressão:

$$f_c = f_{ck} + 1,65 Sd \quad \text{Equação 9.}$$

Onde:

f_c = Resistência de dosagem

f_{ck} = Resistência característica do concreto

Sd = Desvio padrão (Adotados segundo a NBR 6118:2014 ou calculada com valores reais).

Os valores adotados para os desvios padrões estão descritos na tabela 4.

Tabela 1: Valores do desvio padrão para cálculo da resistência aproximada

Valores Sd (Mpa)	Tipos de Controle
4,0	Materiais (cimento, agregados e água) massa, correção de controle de umidade;

5,5	Cimento em massa, agregados em volume, unidade corrigida;
7,0	Cimento em massa, agregados em volume umidade apenas estimados

Fonte: O autor (2017)

f) Consumo de cimento (C)

O consumo de cimento de um concreto é dado em kg/m³ e pode ser expresso ou calculado pela equação a seguir:

$$C = \frac{1000 - \%ar}{\frac{1}{\gamma_{cim}} + \frac{a}{\gamma_{areia}} + \frac{p}{\gamma_{brita}} + a/c} \quad \text{Equação 10.}$$

Sendo:

γ_{cim} = massa específica do cimento;

γ_{areia} = massa específica da areia;

γ_{brita} = massa específica da brita.

3.4 CURA DO CONCRETO

A cura é o processo mediante o qual se mantém um teor de umidade satisfatório, evitando assim a evaporação de água da mistura, garantindo uma temperatura favorável ao concreto, durante o processo de hidratação do cimento, a fim de que se possam desenvolver as propriedades desejadas ao concreto.

O processo da cura do concreto é importantíssimo para a obtenção de um concreto de boa qualidade. A resistência e a durabilidade do concreto somente serão desenvolvidas totalmente se a cura for realizada adequadamente, e durante um período apropriado antes que o concreto seja submetido a esforços.

“Cura é o nome dado aos procedimentos utilizados para promover a hidratação do cimento e, com isso, o desenvolvimento da sua resistência”. - NEVILLE e BROOKS, 2013-

Para que o concreto alcance a resistência e a durabilidade desejada é primordial que durante o processo de cura o concreto seja mantido saturado, até que os espaços na

pasta de cimento fresca, que inicialmente são preenchidos com água, sejam ocupados pelos produtos da hidratação do cimento.

Segundo GIAMMUSSO (1992), controlando rigorosamente a cura do concreto o aparecimento de poros e fissuras tende a cair e a resistência é aumentada.

3.4.1 Tipos de Cura do concreto

Há várias maneiras de realizar a cura de elementos estruturais em concreto. A escolha do processo mais adequado para cada situação dependerá do tipo de material disponível na obra, do tamanho e do formato da estrutura, das condições climáticas, além de aspectos econômicos e estéticos.

Os métodos de cura utilizados, geralmente, seguem um dos sistemas básicos para perfeita obtenção da hidratação do cimento, que são eles:

- Criar um ambiente úmido por meio de aplicação permanente ou frequente de água, quer seja por meio de alagamento, de molhagem, de vapor d'água ou materiais de recobrimento saturados de água.
- Evitar a perda de água do concreto através da utilização de materiais selantes ou por aplicação de compostos líquidos para formação de membranas de cura no concreto.

3.4.1.1 Cura úmida

A água a ser utilizada no processo da cura deve estar livre de matérias nocivas e nem conter ferro ou matéria orgânica que podem causar manchas no concreto.

“É essencial que a água da cura seja isenta de substâncias que ataquem o concreto endurecido, por exemplo, águas que contenham CO₂ livre”. - NEVILLE e BROOKS, 2013-

3.4.1.2 Cura por alagamento

A cura por alagamento consiste em um método de cura por imersão total em água da superfície da estrutura de concreto logo após o seu adensamento, esse processo é um dos mais satisfatórios com a utilização da água, porém é um dos menos utilizados nas obras.

3.4.1.3 Cura por molhagem

Esse método de cura consiste na molhagem do concreto através de dispositivos de rega (mangueiras, baldes, etc.), quando a temperatura do ambiente é adequada e a molhagem é mantida com regularidade ela proporciona uma cura muito satisfatória, porém deve-se tomar o cuidado para não deixar a superfície do concreto secar entre os intervalos das molhagens.

3.4.1.4 Cura com estopa

São feitas mantas de estopas ou algodão, assim como de outros materiais absorventes, essas mantas são dispostas sobre a superfície do concreto conservando assim a sua umidade.

As mantas deverão ser embebidas em água e deverão ser molhadas com regularidade, quanto mais pesada for a estopa, maior será a quantidade de água retida por ela, e, portanto, menor deverá ser a sua frequência de molhagem para manter a manta permanentemente úmida.

3.4.1.5 Cura com terra

A cura é realizada com terra úmida. A terra não deve conter partículas maiores que 25 mm e também não deve apresentar substâncias orgânicas ou outras substâncias que possam prejudicar a hidratação do cimento, retardando a pega ou comprometendo propriedades futuras.

3.4.1.6 Cura com materiais selantes

Os materiais selantes são constituídos por membranas colocadas sobre o concreto com o objetivo de reduzir a perda de água, apesar dos materiais selantes não serem tão eficientes quanto o processo de aplicação de água, existem algumas vantagens no seu uso: a umidade fica fechada entre a superfície do concreto e o material selante, o que ocasiona uma menor deficiência no processo da cura.

Geralmente os materiais selantes utilizados são: películas plásticas, papel impermeável, compostos líquidos, entre outros.

4. METODOLOGIA

Após a revisão bibliográfica e a apresentação das definições necessárias para o prosseguimento do trabalho, o próximo passo foi a realização de um estudo prático dos métodos de cura utilizados em obras na construção civil, para isso foi elaborado um questionário (figura 1), distribuídos entre engenheiros civis, sobre os procedimentos de cura das estruturas de concreto que são realizados nas construções.

Figura 4: Questionário sobre os procedimentos de cura do concreto

Questionário Sobre o Processo da Cura do Concreto

Profissão: _____

Data: _____

Qual o grau de relevância dado ao procedimento da cura na sua obra?

Qual o tipo de cura utilizado? Descreva

Quantos dias duram o processo de cura para os seguintes elementos estruturais?

Viga: _____

Pilar: _____

Laje: _____

Se o procedimento de cura adotado não for contínuo, qual o intervalo entre uma cura e outra?

Viga: _____

Pilar: _____

Laje: _____

Fonte: O autor (2017)

Pelos resultados obtidos verificou-se que o método de cura mais adotado nas obras civis, na cidade de Aracaju-SE, é o de molhagem do concreto através de dispositivos de rega (mangueiras, baldes, etc.), também constatou-se que o elemento estrutural laje é aquele que é submetido ao maior tempo de cura tendo em média um período máximo de duração de 7 dias, em comparação com os outros elementos estruturais que são submetidos em média a uma cura com duração máxima de 3 dias.

4.1 DETERMINAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE CURA

Através da análise desses dados foi definida a metodologia dos procedimentos de cura executados nesse trabalho. Com isso definiu-se dividir um mesmo traço de concreto em três amostras distintas, essas amostras foram submetidas a processo e tempos de cura diferentes.

4.1.1 Tipos de Cura do concreto

4.1.1.1 Amostra I

A amostra I foi submetida ao processo de cura por imersão total dos corpos de prova em um tanque com água saturada com cal, para manter a saturação dos mesmos, durante 28 dias, conforme a figura 5.

Figura 5: Cura em tanque com água saturada em cal



Fonte: O autor (2017)

4.1.1.2 Amostras II e III

As amostras II e III foram submetidas à cura ao ar livre pelo método de molhagem, sujeitas a quaisquer tipos de intempéries como chuva, vento, sol, etc. A amostra II foi curada durante 7 dias com intervalos a cada 3 horas, enquanto a amostra

III permaneceu em processo de cura por 3 dias com o mesmo intervalo de 3 horas entre uma molhagem e outra. Essa condição de cura ao ar livre buscou simular as condições encontradas nas obras, constatadas através do questionário realizado.

Figura 6: Cura ao ar livre pelo procedimento de molhagem



Fonte: O autor (2017)

4.2 TRAÇOS DOS CONCRETOS

Após a definição dos métodos de cura utilizados, com a finalidade de verificar a influência da cura em diversos tipos de concreto estabeleceu-se a utilização de quatro diferentes tipos de traço de concreto, e para cada traço de concreto a moldagem de 2 corpos de prova cilíndricos para cada amostra de cura definida, totalizando 6 corpos de prova para cada tipo de concreto. OS corpos de prova foram destinados ao ensaio de resistência à compressão a 28 dias.

4.2.1 Concreto dosado por empresa especializada

Para o primeiro traço de concreto foi estabelecida a utilização de um traço dosado por uma empresa especializada no ramo de dosagem, para uma obra que está sendo realizada no estado de Sergipe.

Tabela 2: Traço do concreto dosado por empresa especializada

Material	Unitário	Peso (Kg)
Cimento	1,00	10,29
Areia	1,5	15,43
Brita $\frac{3}{4}$	1,91	19,65
Água/cimento	0,45	4,63

Fonte: O autor (2017)

4.2.2 Concreto convencional IPT

O segundo traço empregue foi o do concreto convencional dosado pelo método IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Tabela 3: Traço do concreto convencional IPT

Material	Unitário	Peso (Kg)
Cimento	1,00	7,6
Areia	2,36	17,93
Brita $\frac{3}{4}$	2,64	20,06
Água/cimento	0,58	4,41

Fonte: O autor (2017)

4.2.3 Concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulim

Com o intuito de verificar a interferência do processo de cura em concretos com a utilização de aditivo e metacaulim foi dosado um traço no próprio na laboratório do Instituto Federal de Sergipe com esses componentes.

Tabela 4: Traço do concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulim

Material	Unitário	Peso (Kg)
Cimento	1,00	9,96
Areia	1,52	15,14
Brita $\frac{3}{4}$	1,98	19,72
Água/cimento	0,52	5,18
Metacaulim	0,095	0,95
Aditivo	0,014	0,139

Fonte: O autor (2017)

4.2.4 Concreto pobre IPT

O quarto traço de concreto foi um traço com um consumo menor de cimento dosado pelo método IPT.

Tabela 5: Traço do concreto pobre IPT

Material	Unitário	Peso (Kg)
Cimento	1,00	6,23
Areia	3,2	19,92
Brita $\frac{3}{4}$	3,3	20,55
Água/cimento	0,53	3,3
Aditivo	0,016	0,1

Fonte: O autor (2017)

4.3 MATERIAIS

Neste item estão caracterizados os materiais utilizados para a fabricação dos concretos usados neste trabalho.

4.3.1 Cimento

Para a produção de todos os concretos foi utilizado o cimento tipo CP II Z-32 da marca Nacional.

A caracterização do material obedeceu às prescrições das normas da NBR. Assim, os resultados obtidos e as normas que preconizaram os ensaios de caracterização estão apresentados na tabela 5.

Tabela 6 - Resultados da caracterização do cimento Nacional

Característica		Resultados	Limites (NBR 11578/91)	Método de ensaio
Massa específica		3.08 g/cm ³	-	NBR NM 23/2001
Finura (#200)		0.96%	≤12,0%	NBR 11579/2012
Água de Consistência normal		29,4%	-	NBR NM 43/2003
Tempos de pea	Início	127min	≥60min	NBR NM 65/2003
	28 dias	32,1	≥ 32 Mpa	

Fonte: O autor (2017)

4.3.2 Areia

Os ensaios realizados para caracterização da areia estão contidos na tabela 6, esses estão baseados nas normas: ABNT NBR NM 248/2003 – Agregados- Determinação da composição granulométrica, ABNT NBR 9776:1987 – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman.

Tabela 7: Caracterização do agregado miúdo

	IFS - INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE				
	Interessado:			Coleta:	
	Procedência:			Entrada:	
	Referência:	Caracterização de Agregado Miúdo - Areia		Registro:	

REALIZAÇÃO DE ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

D a t a:		1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO - NBR NM 248:2003									
Abertura da malha das peneiras (m)	a) massa inicial 1,000.0 seca (gr) =				(Vr) Massa retida Variações ± 4 %	(Mrm) Massa retida Média	(Mra) Massa retida Acumulada	Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	b) massa inicial 1,000.0 seca (gr) =							Limites Inferiores		Limites Superiores	
	(Mrg) Massa retida (gr)		(Mr%) Massa retida (%)					Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b							
9.5	0.0	0.0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0	0	0	0
6.3	0.0	0.0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0%	0	0	0	7
4.75	17.6	11.5	6%	4%	1.9%	5.0%	5%	0	0	5	10
2.36	22.2	20.0	7%	7%	0.6%	7.0%	12%	0	10	20	25
1.18	33.0	32.2	11%	11%	0.0%	11%	23%	5	20	30	50
0.6	73.6	73.7	24%	25%	0.6%	24%	47%	15	35	55	70
0.3	101.4	102.7	33%	34%	1.2%	34%	81%	50	65	85	95
0.15	42.0	41.7	14%	14%	0.2%	14%	94%	85	90	95	100
Fundo	16.4	17.3	5%	5.8%	0.5%	6.0%	100%	100	100	100	100
Mt) Total Σ	306.0	299.0	Módulo de Finura = 2.62					Diâmetro máximo = 4.75			
Mt = (Σ de Mrg) Mr% = (Mrg / Mt) *100 Vr = (Mr% ensaio a - Mr% ensaio b) Mrm = (Mr% ensaio a + Mr% ensaio b)/2 Mra = (Σ Mrm Massa retida media)											
Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100 D. máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada < 5%											

D a t a:		2) MASSA ESPECÍFICA MÉTODO CHAPMAN-NBR 9776	
Ms) Massa de agregado seco para o ensaio (g)		500.0	500.0
Va) Volume corrigido da água no frasco (cm³)		200.0	200.0
Lf) Leitura final no frasco c/ água + agregado (cm³)		393.0	395.0
Massa específica real dos grãos = Ms / (Lf - Va)		2.591	2.564
Média da Massa específica real dos grãos (g/cm³)		2.58	

Fonte: Carvalho (2017)

4.3.2 Brita

O agregado graúdo utilizado na pesquisa é comumente conhecido como “Brita 3/4”, com diâmetro máximo característico de 19 mm. Os ensaios de caracterização foram realizados de acordo com as normas: ABNT NBR 7251:1982 – Agregado em estado solto-Determinação da massa unitária, ABNT NBR NM 53:2003 – Determinação da massa específica, massa específica aparente, e absorção de água. Os resultados da caracterização do agregado graúdo estão contidos nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Resultados da caracterização da massa unitária do agregado graúdo

Massa unitária do agregado graúdo (Kg/cm²)		
Amostra 01 (kg)	Amostra 02 (kg)	Amostra 03 (kg)
38,484	38,266	38,188
Massa unitária do agregado graúdo (Kg/cm²) $m = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3}$		38,313

Fonte: Carvalho (2017)

Tabela 9: Resultado caracterização da massa específica do agregado graúdo

Massa Específica do agregado graúdo (g/cm²)		
massa seca (g)	massa ao ar na condição saturada (g)	massa em água da amostra
3000	3000	1873
Massa Específica do agregado graúdo (g/cm²) $m = \frac{m}{m - m_a}$		2,662

Fonte: Carvalho (2017)

4.4 ENSAIOS

A seguir serão descritos os ensaios executados nesse presente trabalho para obtenção dos objetivos propostos.

4.4.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone

O ensaio de abatimento de tronco de cone é um método que determina a consistência do concreto fresco através da medida do assentamento do concreto. Este

ensaio é normatizado pela ABNT NM 67:98 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

4.4.1.1 Aparelhagem

- Molde de tronco de cone: com diâmetro da base inferior de 200 mm, diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm;
- Haste de compactação com diâmetro de 16 mm e comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas;
- Placa plana para base do molde do tronco de cone.

4.4.1.2 Procedimentos

O ensaio consiste em umedecer o molde de tronco de cone e preenchê-lo com concreto fresco em três camadas com alturas aproximadamente com um terço da altura do tronco de cone, cada camada deve ser compactada com a haste umedecida, aplicando-se 25 golpes distribuídos de forma circular. Depois do preenchimento deve-se realizar a rasadura da superfície, levantar o molde no sentido vertical com velocidade uniforme, coloca-lo ao lado da massa de concreto invertê-lo, medindo a diferença de altura entre a massa de concreto e a altura do molde do tronco de cone.

Figura 7: Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: O autor (2017)

4.4.2 Velocidade de abatimento

Este ensaio foi adaptado do ensaio de abatimento modificado desenvolvido por FERRARIS & DE LARRARD (1998). O objetivo deste é que de uma maneira prática possa se obter a viscosidade de escoamento dos concretos.

4.4.2.1 Aparelhagem

- Molde de tronco de cone: com diâmetro da base inferior de 200 mm, diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm;
- Haste de compactação com diâmetro de 16 mm e comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas;
- Placa plana para base do molde do tronco de cone;
- Cronômetro com precisão de 0,01s.

4.4.2.2 Procedimentos

Segundo SANTOS (2008), a primeira etapa para o início deste ensaio é umedecer a haste, a base e o tronco de cone. Em seguida, unta-se a haste vertical central com a graxa e posiciona o tronco de cone na base, de forma que a mesma fique centralizada em relação à haste. Da mesma forma como feito para o ensaio de abatimento de tronco de cone, deve-se preencher o tronco de cone em três camadas de 25 golpes cada e proceder à retirada da sobra de material da superfície. Como ao colocar o concreto no molde, ocorre perda da graxa na haste, deve-se limpar e untá-la novamente. Posteriormente, deve-se inserir a placa de formato circular com o anel de vedação encaixado no orifício da placa. Por fim, deve-se levantar verticalmente o cone e com auxílio do cronômetro mensurar o tempo decorrido do início do ensaio até a parada da placa na marcação da haste, sendo esta com altura de 100 mm contando a partir da extremidade superior. Após retirada da placa, deve-se medir o abatimento com uma régua milimetrada.

Figura 8: Ensaio do tronco de cone modificado



Fonte: Santos (2008)

A medição da velocidade de abatimento realizada no laboratório do IFS foi uma adaptação deste método descrito. Essa adaptação se deu devido ao fato da não utilização do aparelhamento completo composto pelos equipamentos descritos anteriormente. Assim, com o auxílio do cronômetro de precisão mediu-se o tempo em segundos que o concreto saía da posição de repouso até a posição de abatimento final.

4.4.3 Ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos

O ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos de concreto foi realizado seguindo os parâmetros estabelecidos pela NBR 5397/2007. Como já mencionado, foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos de concreto para cada um dos quatro tipos de concretos utilizados, todo o procedimento de moldagem e desforma dos corpos seguiu a NBR 5738/2008.

4.4.3.1 Aparelhagem

- Betoneira com capacidade de 120 litros;
- Molde de aço com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura;
- Haste de socamento com diâmetro de 16 mm e comprimento de 600 mm e extremidades de socamento semi-esféricas;
- Prensa hidráulica.

4.4.3.2 Procedimentos

Realizou-se, para cada traço de concreto, a montagem dos 6 moldes dos corpos de prova e depois esses foram untados internamente com uma fina camada de óleo mineral, após a preparação dos moldes realizou-se a mistura dos concretos na betoneira de capacidade de 120 litros, posteriormente a mistura concreto foi colocado nos moldes, com o emprego de concha em 2 camadas de alturas aproximadamente iguais, a cada camada o adensamento foi realizado com a aplicação de 15 golpes com a haste de socamento. A desforma de concreto aconteceu após decorridas 24 horas da moldagem, a partir daí cada amostra dos corpos de prova foram submetidas aos processos de cura especificados no item 4.1.

Figura 9: Moldagem e desforma dos corpos de prova cilíndricos de concreto



Fonte: O autor (2017)

Decorridos 28 dias da data de moldagem os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. O rompimento dos corpos de concreto, assim como todos os outros ensaios, foi realizado no laboratório de materiais de construção do Instituto Federal de Sergipe. Para efeito da análise dos resultados foi considerado a maior resistência à compressão atingida em cada amostra.

Figura 10: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto



Fonte: O autor (2017)

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

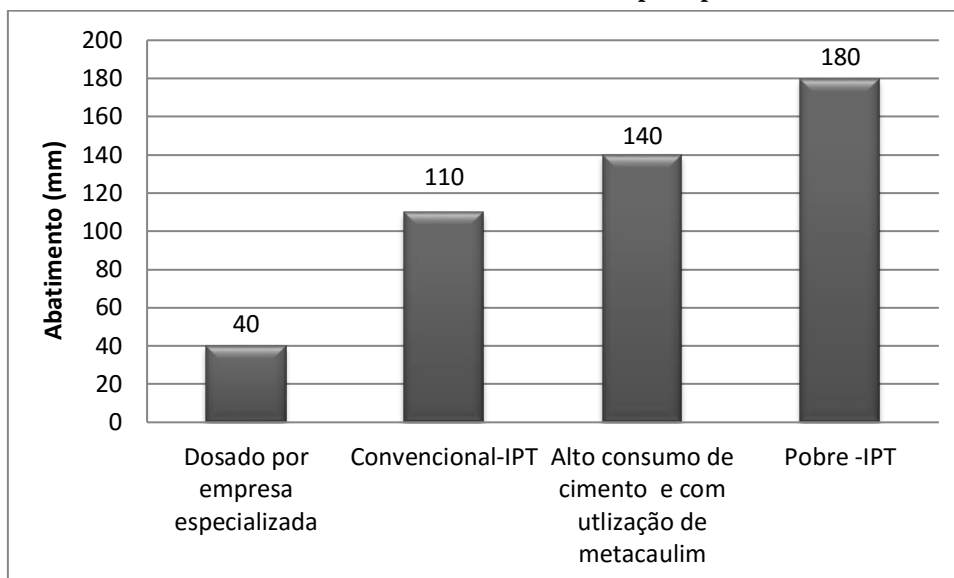
Abaixo, na tabela 1 estão apresentados os 4 diferentes concretos utilizados neste presente trabalho e os resultados dos ensaios de abatimento e velocidade de abatimento realizados nos concretos em estado fresco, bem como os parâmetro utilizados na confecção dos traços dos concretos, como proporção de agregado, teor de argamassa seca, teor de água, relação água cimento, consumo de cimento e teor de aditivo.

Tabela 10: Traços e resultados dos ensaios em estado fresco dos concretos

Concreto	1-Dosado por empresa especializada	2-Convencional-IPT	3-Alto consumo de cimento e com utilização de metacaulim	4-Pobre –IPT
Abatimento (mm)	40	110	140	180
Tempo de abatimento (s)	2,38	0,69	0,78	1,22
Velocidade de abatimento (mm/s)	16,8	159,4	179,5	147,5
Proporção de agregado (m)	3,41	5	3,5	6,5
Valor de "a"	1,50	2,36	1,52	3,2
Valor de "p"	1,91	2,64	1,98	3,3
Teor de argamassa (%)	56,70	56,00	56,00	56,00
Relação a/c	0,45	0,58	0,52	0,53
H% (teor de água)	10,2	9,67	11,6	7,1
Consumos de cimento (Kg/m ³)	482,6	355,9	459,5	299,9
Teor de aditivo (%)	0	0	1,4	1,6

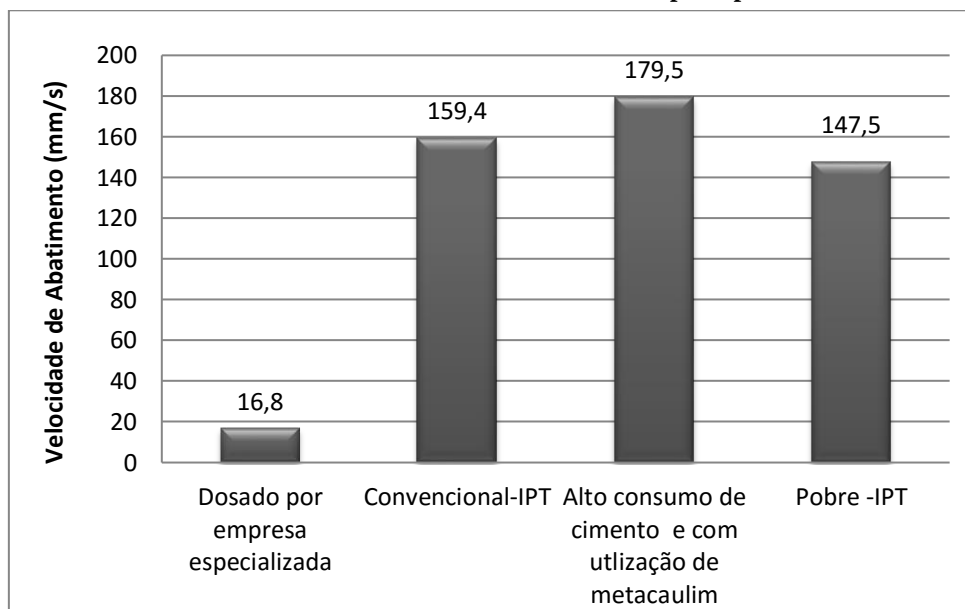
Fonte: O autor (2017)

Os gráficos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam uma comparação entre os resultados obtidos dos 4 traços de concreto utilizados para os seguintes índices: abatimento, velocidade de abatimento, proporção de agregados, teor de argamassa seca, teor de água, consumo de cimento e teor de aditivo.

Gráfico 1: Resultado do ensaio de abatimento por tipo de concreto

Fonte: O autor (2017)

Observou-se, através do gráfico 1, que o concreto pobre (baixo consumo de cimento) do método IPT foi aquele que atingiu o maior abatimento entre os demais concretos. Ele apresentou um abatimento 450% vezes maior do que o concreto dosado por empresa especializada, que foi o que apresentou o menor abatimento entre os concretos analisados.

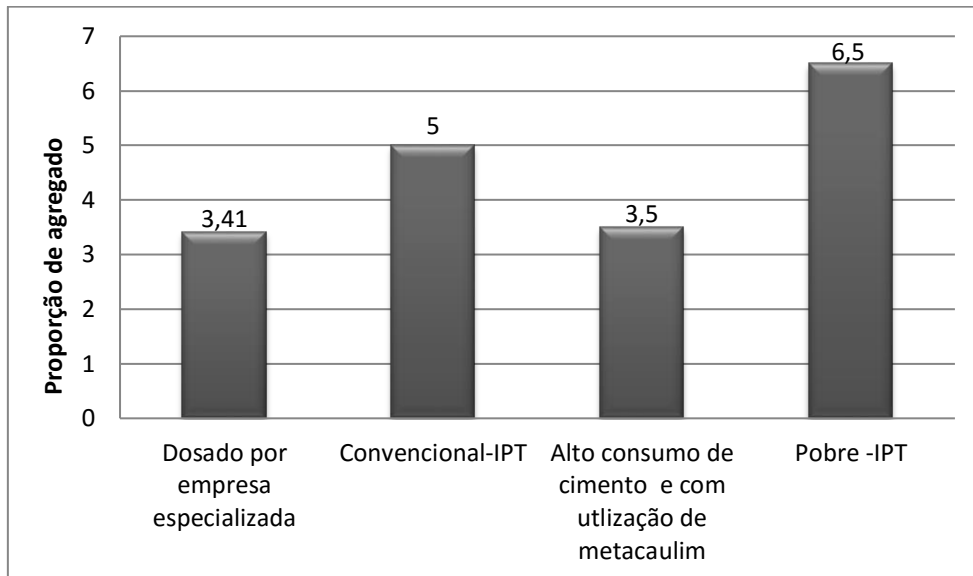
Gráfico 2: Resultado da velocidade de abatimento por tipo de concreto

Fonte: O autor (2017)

Analisando os resultados da velocidade de abatimento, constatou-se da mesma forma como nos resultados de abatimento, que o concreto dosado por empresa

especializada obteve a menor velocidade de abatimento, estando esta mais de 10 vezes menor que a velocidade obtida pelo concreto de alto consumo de cimento, que foi a maior velocidade entre todos os concretos. Este fato ocorreu principalmente devido ao uso do aditivo polifuncional, que fluidificou a mistura.

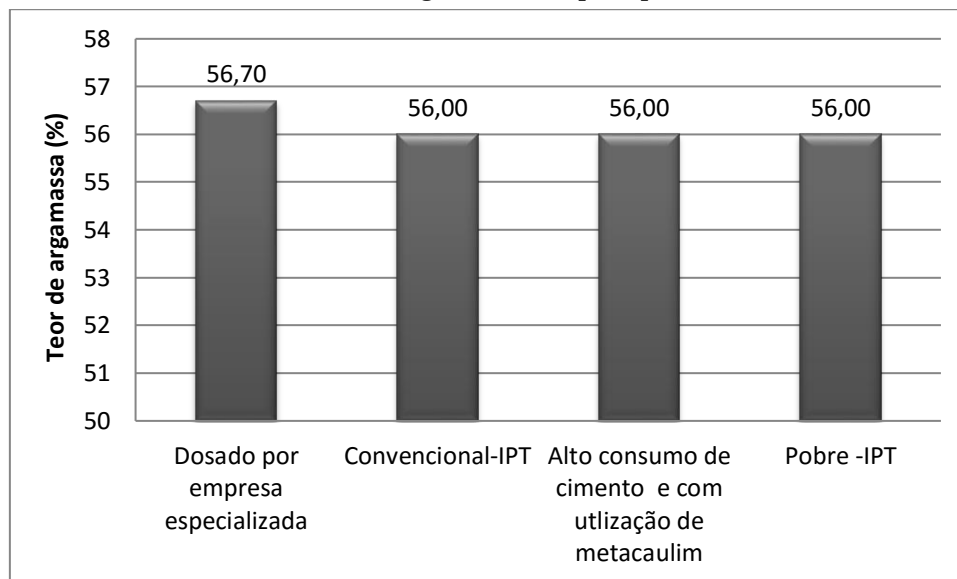
Gráfico 3: Proporção de agregado por tipo de concreto



Fonte: O autor (2017)

A maior proporção de agregado utilizada foi de 6,5 para o concreto pobre, já os concretos dosado por empresa especializada e de alto consumo de cimento apresentaram uma proporção de agregado menor, 3,41 e 3,5 respectivamente.

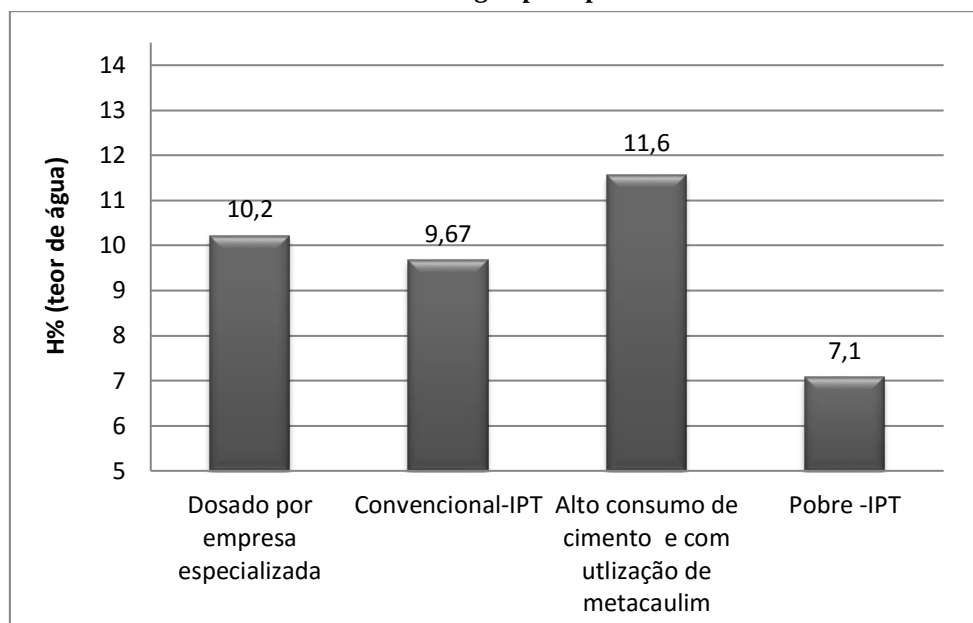
Gráfico 4: Teor de argamassa seca por tipo de concreto



Fonte: O autor (2017)

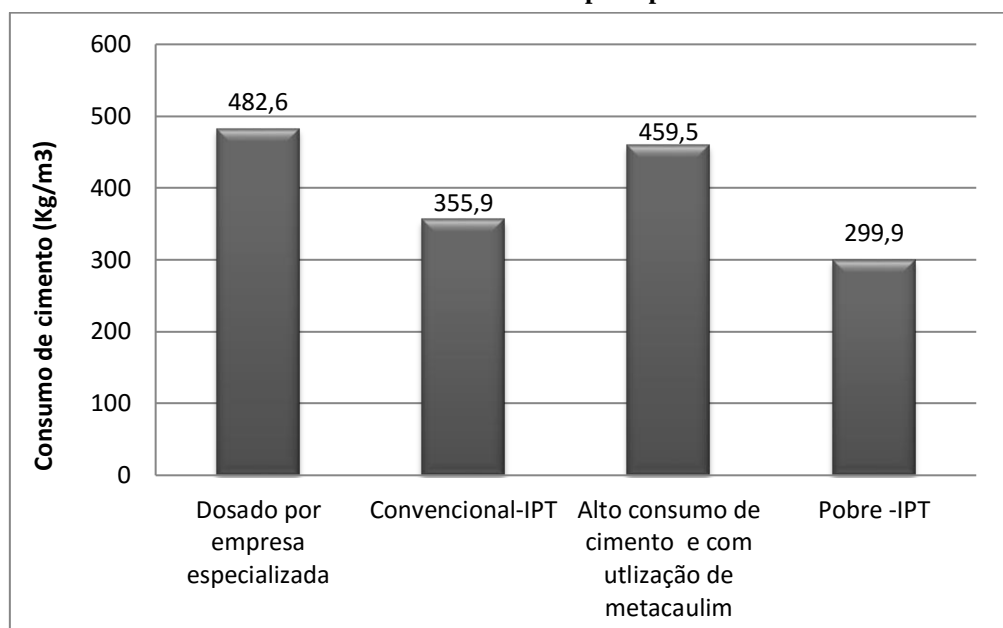
O teor de argamassa seca foi o parâmetro que se manteve uniforme para os todos os concretos, com uma pequena variação para o concreto 1, que como já mencionado o seu traço foi dosado por uma empresa especializada, mas mesmo assim se manteve na casa dos 56%. Cabe salientar que, analisando-se conjuntamente o parâmetro α , e a proporção de agregados “m” os concretos dosado por empresa especializada e rico em cimento, possuem “ α ” idêntico aos demais, mas com uma diferença importante – a quantidade de cimento maior.

Gráfico 5: Teor de água por tipo de concreto



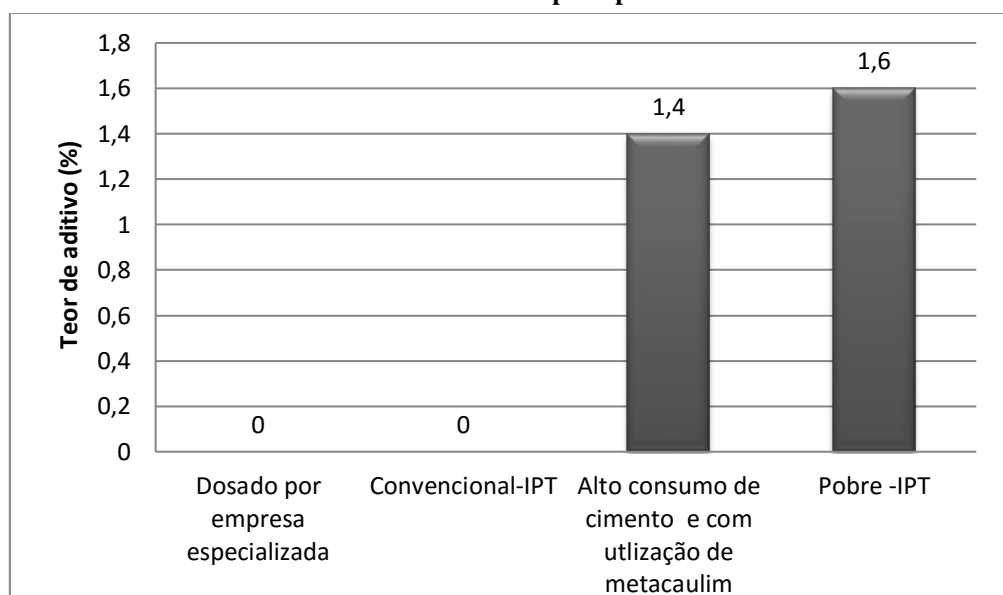
Fonte: O autor (2017)

Percebe-se pelo gráfico 5 uma variação de 4,5% entre a maior porcentagem de teor de água, concreto com alto consumo de cimento, e a menor porcentagem de teor de água, concreto pobre IPT. Provavelmente o alto teor de finos requereu uma maior área de molhagem (concretos “dosado por empresa especializada” e “alto consumo de cimento e metacaulim”), mesmo este último sendo dosado com aditivos.

Gráfico 6: Consumo de cimento por tipo de concreto

Fonte: O autor (2017)

O concreto dosado por empresa especializada foi aquele que apresentou o consumo mais elevado de cimento, em contrapartida o concreto pobre IPT, como já era esperado, apresentou o menor consumo de cimento em seu traço.

Gráfico 7: Teor de aditivo por tipo de concreto

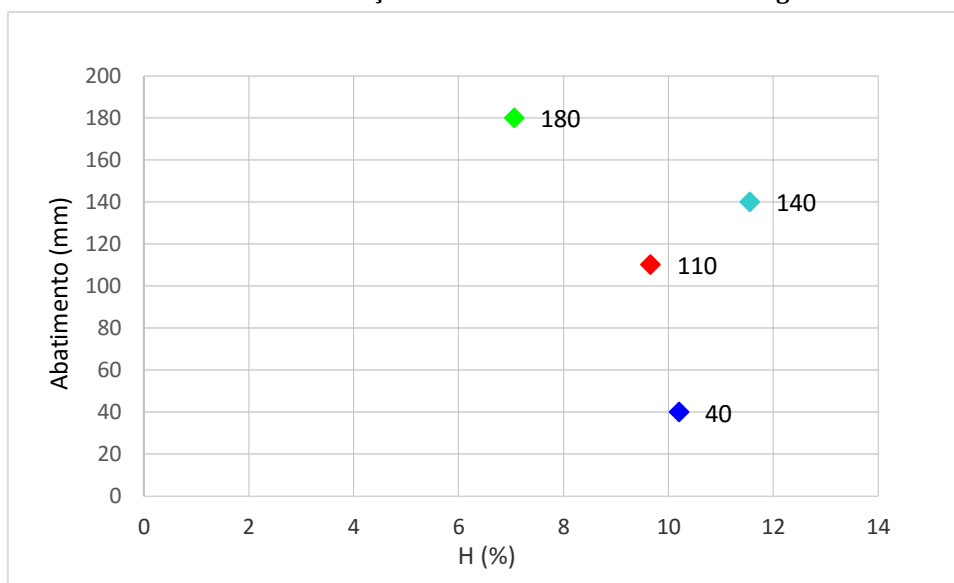
Fonte: O autor (2017)

O concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulim e o concreto pobre IPT foram aqueles que houve a utilização de aditivos em seu traço,

tendo o concreto pobre utilizado a porcentagem máxima recomendada pelo fabricante do aditivo.

A seguir, nos gráficos 8,9 e 10 serão analisados os resultados dos ensaios de abatimento e a influência das características de cada traço de concreto nas propriedades mensuradas.

Gráfico 8: Correlação entre o abatimento e o teor de água

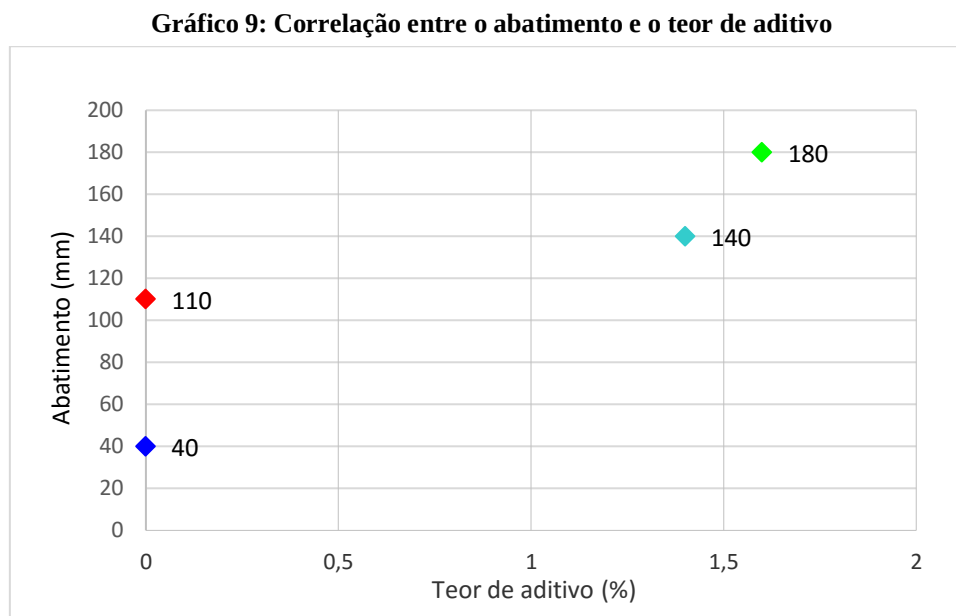


Fonte: O autor (2017)

O teor de água (H%) é o parâmetro que mais influencia no abatimento do concreto. Normalmente, quanto maior a quantidade de água em relação à quantidade de agregados, o concreto tende a ser mais fluído e conseqüentemente ter um resultado mais elevado em seu abatimento. Entretanto, pode-se verificar, através da análise do gráfico 8, que a correlação entre o abatimento e o teor de água não foi linear, provavelmente porque a comparação foi realizada com concretos diferentes, com traços diferentes. Isso fica bem evidenciado analisando o concreto dosado por empresa especializada que, apesar de ter, relativamente, um teor de água elevado, causado pela baixa proporção de agregados desse concreto, ele foi o concreto que apresentou o menor abatimento. Tal resultado, possivelmente, se deve ao fato desse traço ter o maior consumo de cimento e a não utilização de aditivos na sua concepção.

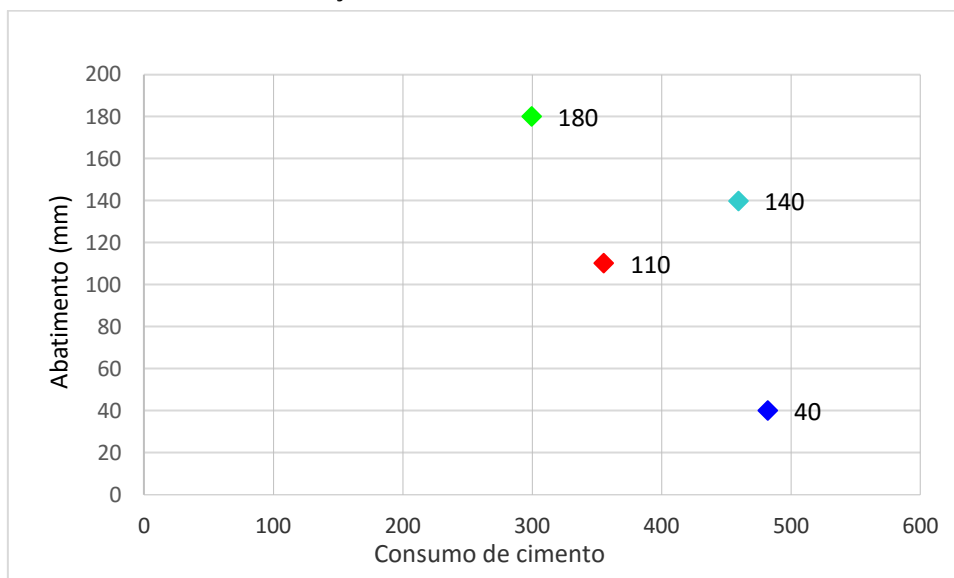
Verificando os resultados obtidos dos ensaios de abatimento para os concretos com alto consumo de cimento e o pobre IPT também ficou constatada a não linearidade entre H% e o abatimento, pois apesar do concreto com alto consumo de cimento

também ter um maior teor de água ele obteve um menor abatimento que o concreto pobre IPT, porque além de ter um consumo de cimento mais elevado ele também apresenta uma porcentagem menor de aditivo, que através dos resultados analisados do gráfico 9, abaixo, percebeu-se a tendência de que quanto maior a quantidade de teor de aditivo utilizado maior o abatimento do concreto.



Fonte: O autor (2017)

Percebeu-se (gráfico 9) a proporcionalidade direta na quantidade de aditivo e o abatimento, independente do consumo de cimento utilizado no concreto, pois em tese a ação do aditivo polifuncional deveria ser maior no concreto com um consumo maior de cimento, pois o princípio de ação do aditivo é realizado nas partículas de cimento, então esperava-se que com uma quantidade maior de partículas de cimento no concreto de alto consumo o efeito do aditivo fosse intensificado neste tipo de traço. Entretanto isso não foi constatado, pois o concreto pobre com uma quantidade menor de cimento mas com um teor maior de aditivo, obteve o maior abatimento.

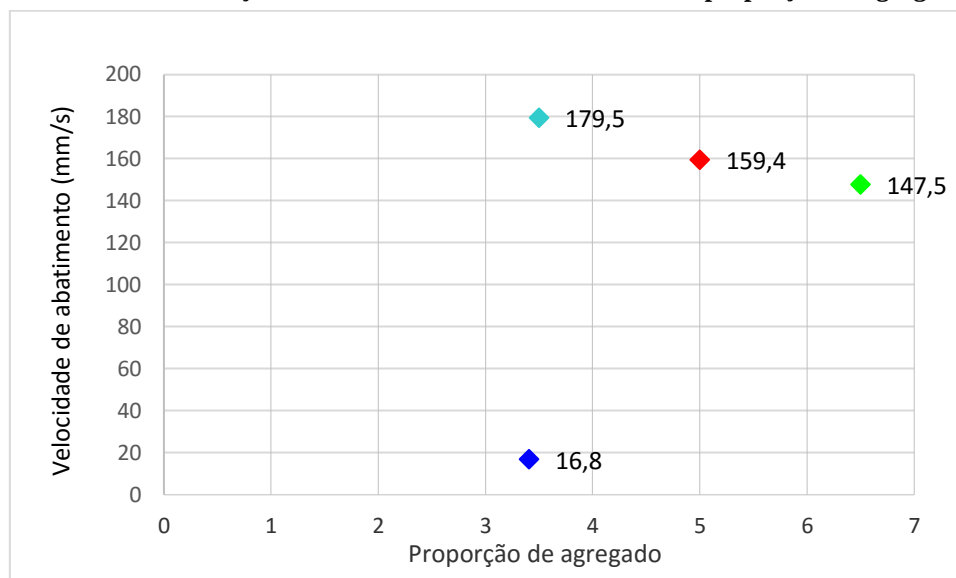
Gráfico 10: Correlação entre o abatimento e o consumo de cimento

Fonte: O autor (2017)

Considerando os valores encontrados no gráfico 10 para o ensaio de abatimento, pode-se ratificar a propensão de um maior consumo de cimento gerar um menor abatimento do concreto, pois se analisar separadamente os grupos de concretos com o uso de aditivo (concreto com alto consumo e o concreto pobre) e aqueles sem o uso de aditivo (concreto dosado por empresa e o concreto convencional), verifica-se que o concreto com o maior consumo de cimento dentro do seu grupo apresenta um abatimento menor do que aquele com menor consumo de cimento do mesmo grupo.

A propensão de uma relação inversa entre o consumo de cimento e o abatimento fica demonstrada na comparação entre concreto dosado por empresa especializada, que teve o menor abatimento, e o concreto convencional IPT, pois o concreto dosado pela empresa estava mais coeso devido ao excesso da quantidade de cimento.

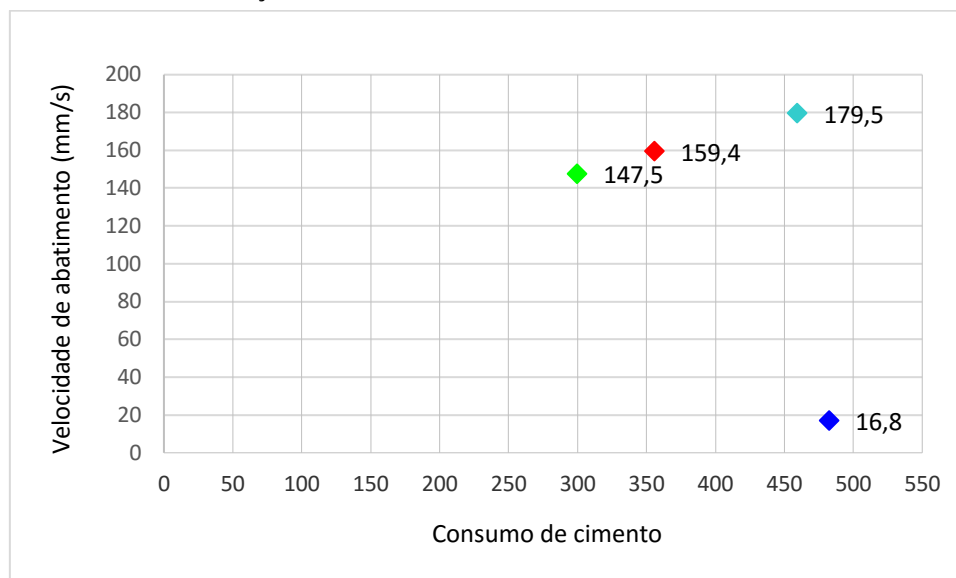
Abaixo, nos gráficos 11, 12 e 13 serão analisados os resultados da velocidade de abatimento e a influência das características de cada traço nesses valores.

Gráfico 11: Correlação entre a velocidade de abatimento e a proporção de agregado

Fonte: O autor (2017)

Pela observação dos valores obtidos no gráfico 11 para velocidade de abatimento, constata-se uma relação entre uma maior proporção de agregado e uma diminuição na velocidade de abatimento, essa diminuição é causada possivelmente pela força de atrito gerada pelos agregados que age no sentido contrário ao da força de aceleração. À margem dessa relação encontra-se o concreto dosado por empresa especializada, que apesar de sua proporção menor de agregado obteve uma velocidade muito baixa. Esse resultado fora da tendência deve-se, muito provavelmente, ao desequilíbrio do traço desse concreto que apresenta um consumo de cimento elevado ocasionando assim uma alta viscosidade plástica que consequentemente produz uma velocidade baixa.

Gráfico 12: Correlação entre a velocidade de abatimento e o consumo de cimento

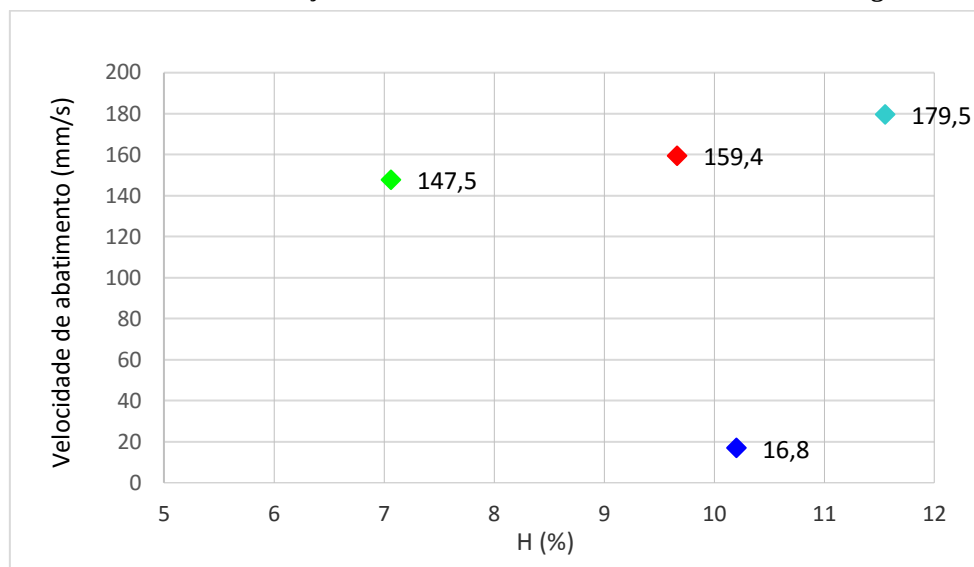


Fonte: O autor (2017)

O consumo do cimento tem uma ingerência muito importante na velocidade de abatimento, pois ele é um parâmetro muito forte na viscosidade do concreto, e com já é sabido a viscosidade interfere inversamente na velocidade. Mais uma vez analisando de forma separada os grupos de concreto com e sem aditivo é possível perceber que o concreto dosado pela empresa tem uma velocidade menor do que o concreto convencional, isso devido provavelmente ao alto consumo de cimento e consequente elevada viscosidade.

Já nos concretos com o uso de aditivos polifuncionais, apesar de o concreto com alto consumo de cimento ter uma quantidade de cimento elevada a sua viscosidade é aletrada pela utilização de aditivo, este aditivo age de forma a diminuir a viscosidade do concreto o que propicia uma velocidade mais elevada.

Gráfico 13: Correlação entre a velocidade de abatimento e o teor de água

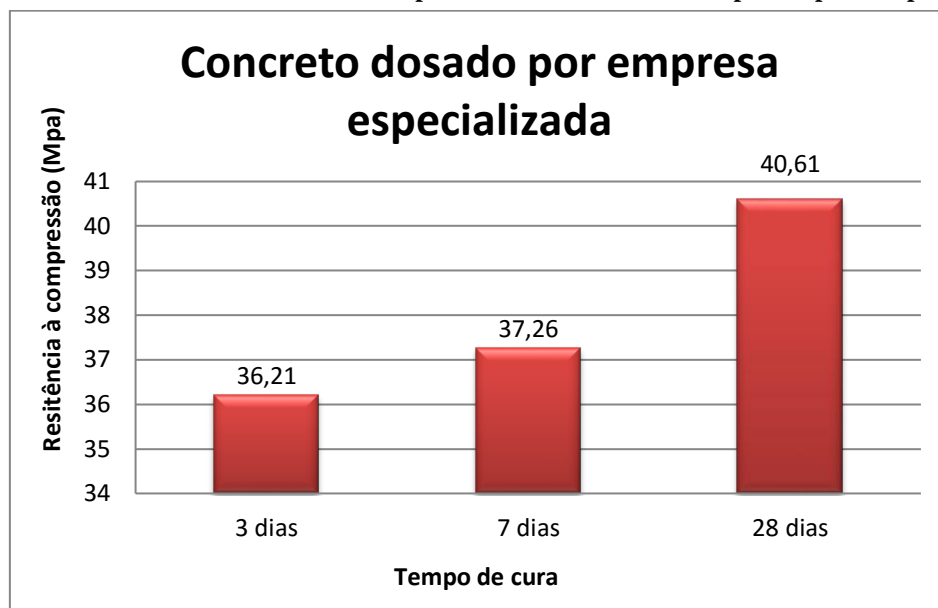


Fonte: O autor (2017)

Pela observação do gráfico 13 constata-se a relação proporcional entre o teor de água e a velocidade de abatimento, já que o aumento do H% gera um aumento na velocidade de abatimento, com exceção do concreto 1. Essa particularidade provavelmente se deve, como já mencionado, ao desequilíbrio já constatado na dosagem desse concreto (excesso do consumo de cimento).

Foi possível observar através das análises dos resultados de velocidade de abatimento que o concreto dosado por empresa especializada apresenta propriedades que em teoria teriam uma tendência em gerar uma velocidade de abatimento maior, mas como a velocidade é uma variável que é influenciada por mais de um parâmetro isso não ocorreu. Ficou evidente que no caso da dosagem do traço do concreto da empresa especializada o parâmetro que mais teve importância e interferência foi o do elevado consumo de cimento.

A seguir serão apresentados e analisados os resultados obtidos da resistência à compressão dos corpos de prova dos concretos em questão e dos diferentes tempos de cura à que eles foram submetidos.

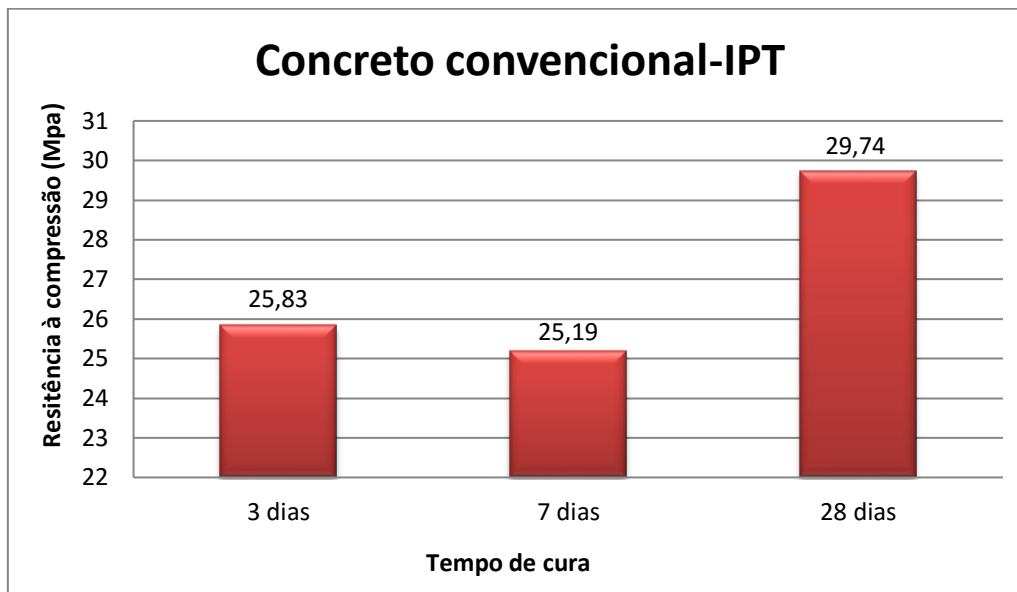
Gráfico 14: Resultado da resistência à compressão do concreto dosado por empresa especializada

Fonte: O autor (2017)

De acordo com a observação do gráfico 14, nota-se a linearidade entre o aumento do tempo da cura e o aumento na resistência e que os corpos de prova que foram submetidos ao processo de cura com duração de 28 dias foram aqueles que galgaram a maior resistência à compressão, como já era esperado, devido a um possível maior controle da perda de água por evaporação dos corpos de prova curados em laboratório, proporcionando assim que eles pudessem desenvolver as propriedades desejadas ao concreto.

O concreto com o menor tempo de cura, aquele que mais se aproxima da realidade de uma obra, atingiu uma resistência à compressão de 12,15% inferior ao do concreto que ficou sobre o processo de cura todos os 28 dias até o seu rompimento, ou seja, o concreto com apenas 3 dias de cura ficou 12,15% aquém da sua possível capacidade de carga.

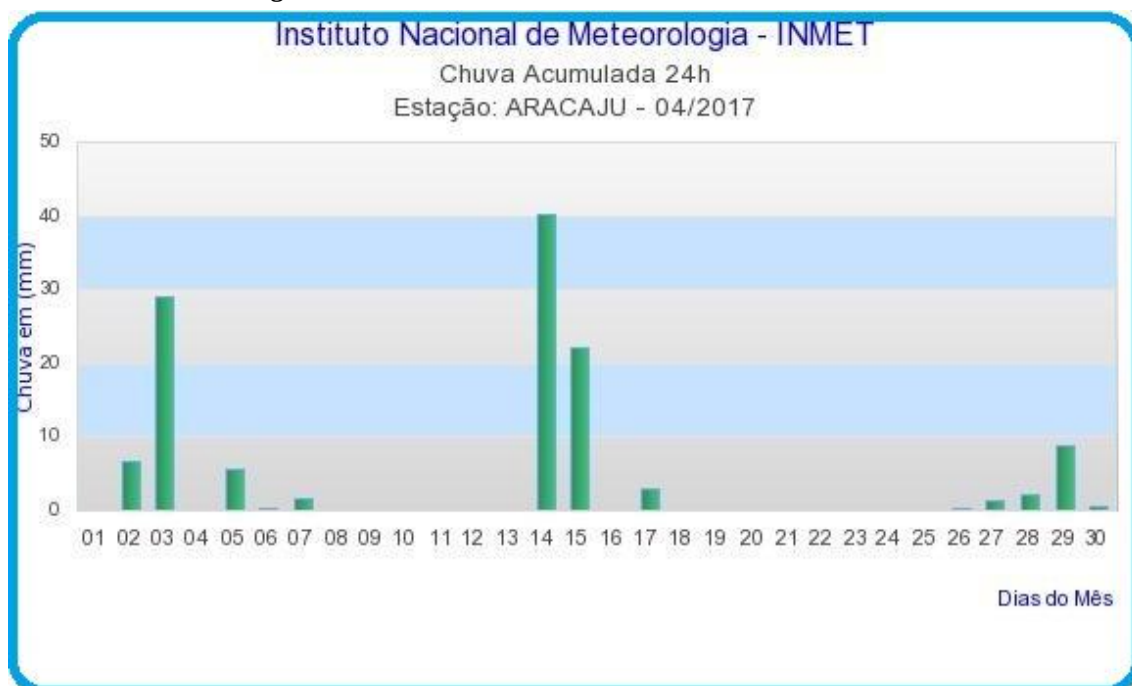
Gráfico 15: Resultado da resistência à compressão do concreto convencional-IPT



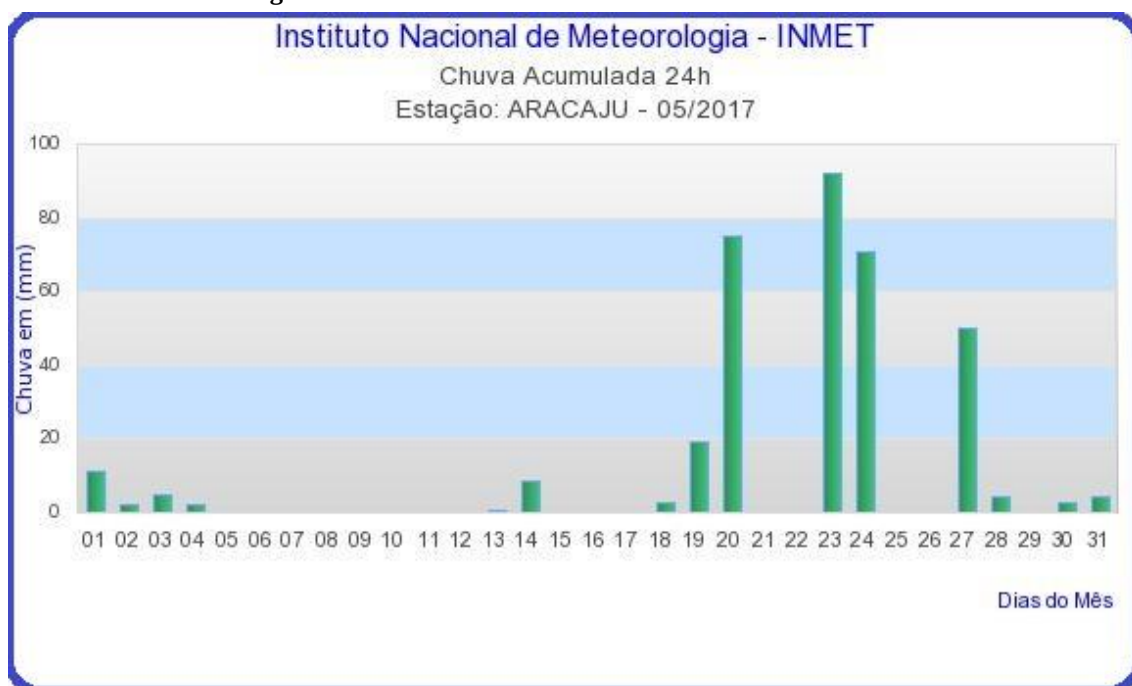
Fonte: O autor (2017)

Da análise dos resultados do gráfico15 pode-se extrair a comprovação de que o processo de cura com a duração de 28 dias mais uma vez produz um concreto mais resistente do que aqueles com tempo de cura inferior. O concreto convencional-IPT curado durante 28 dias teve uma resistência 18,06% maior do que aquele que obteve a menor resistência.

Na comparação entre o concreto convencional curado durante 3 dias e o curado durante 7 dias constatou-se um resultado fora do padrão, pois o concreto com um tempo de cura inferior atingiu uma resistência à compressão 2,5% maior. Muito provavelmente, essa discrepância se deu devido à ocorrência de chuvas constantes em todos os 7 primeiros dias no período de cura desses concretos (entre 27/04/2017 e 03//05/2017) na cidade de Aracaju (cidade onde foi realizado o presente trabalho), conforme mostram a figura1 e figura 2. E como já descrito na metodologia, os corpos de prova de 3 e 7 dias foram curados ao ar livre e submetidos a quaisquer tipos de intempéries que pudessem surgir, sendo a chuva uma delas. E nos períodos da ocorrência dessas chuvas o concreto de 3 dias também foi molhado pela ação da chuva do mesmo modo que o concreto de 7 dias, sendo esse o, possível, motivo para o concreto submetidos a 7 dias programados de cura não ter atingido uma resistência superior.

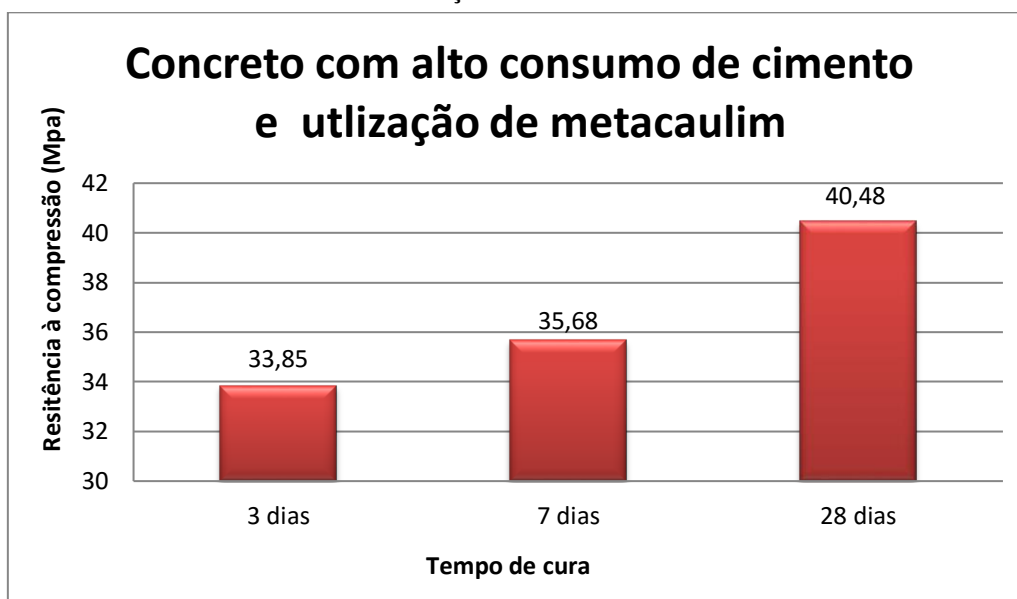
Figura 11: Chuva acumulada em 24 horas no mês de abril

Fonte: Instituto nacional de meteorologia (2017)

Figura 12: Chuva acumulada em 24 horas no mês de maio

Fonte: Instituto nacional de meteorologia (2017)

Gráfico 16: Resultado da resistência à compressão do concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulim

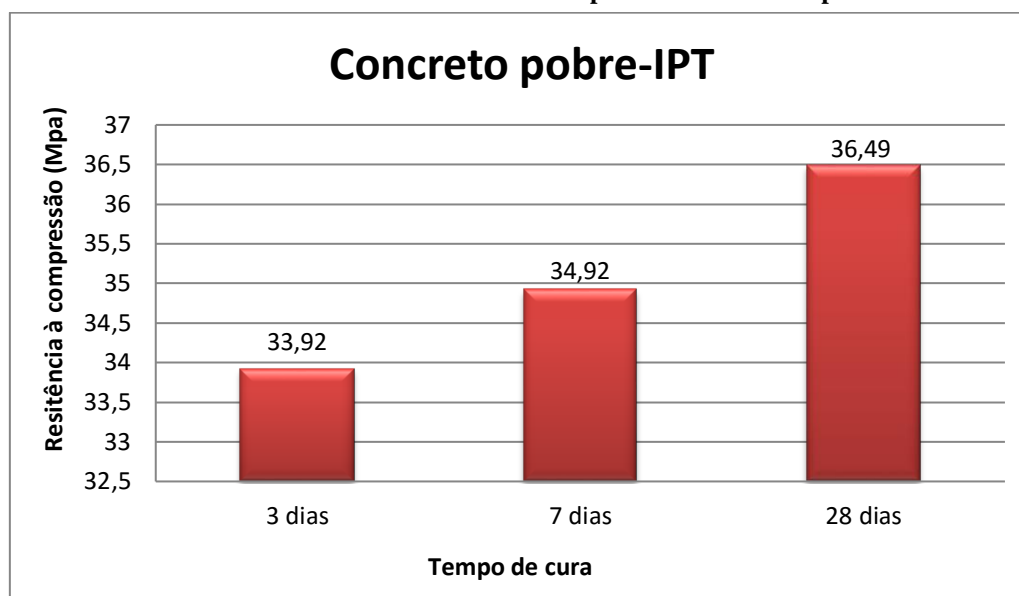


Fonte: O autor (2017)

De acordo com a observação dos resultados das resistências dos corpos de prova do concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulim, nota-se novamente que uma duração maior no processo de cura propicia uma resistência à compressão mais elevada, por conseguinte os corpos de prova que ficaram saturados durante os 28 dias obtiveram, mais uma vez, o resultado mais satisfatório. Esse concreto atingiu uma resistência 21,38% maior do que o concreto com o pior resultado, que foi aquele que permaneceu sobre o processo de cura por apenas 3 dias.

Por sua vez, o concreto submetido ao processo de molhagem por 7 dias atingiu uma resistência 5,4% maior do que o concreto de 3 dias de molhagem e 13,45% menor do que o concreto saturado por 28 dias.

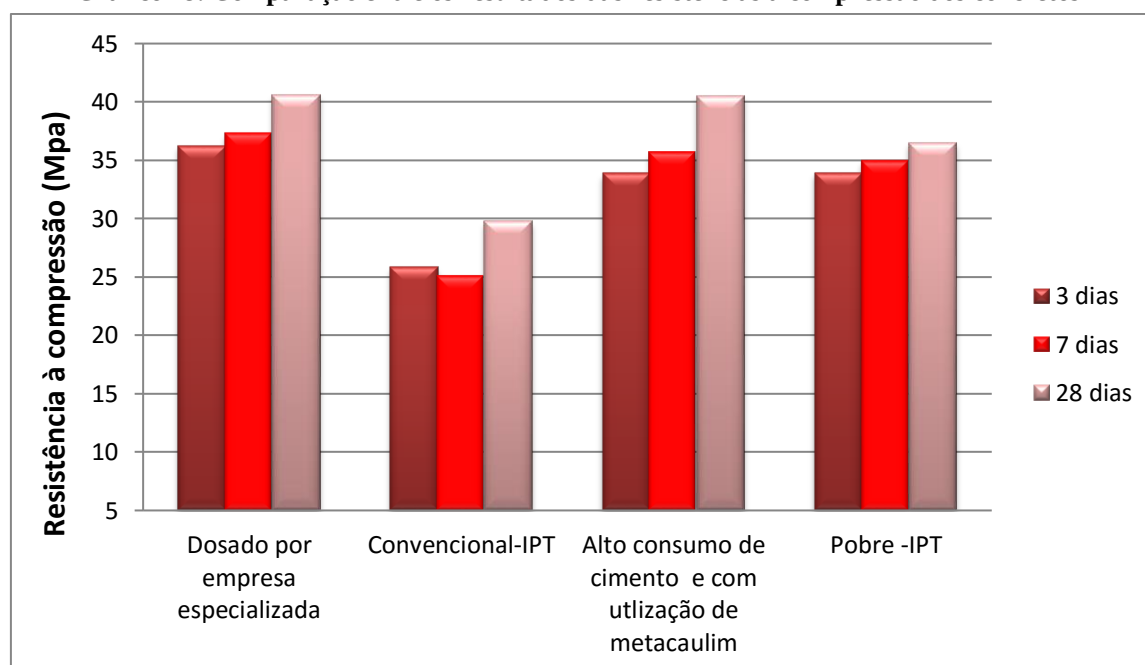
Gráfico 17: Resultado da resistência à compressão do concreto pobre-IPT



Fonte: O autor (2017)

Assim como nos demais concretos, a amostra que passou pelo procedimento de cura durante todos os 28 dias foi aquela que atingiu a maior resistência à compressão, com uma resistência 4,5 % superior à amostra que permaneceu sobre cura durante 7 dias e 7,58% maior do que a amostra que foi curada apenas durante 3 dias.

Gráfico 18: Comparação entre os resultados das resistências à compressão dos concretos



Fonte: O autor (2017)

Analisando os resultados das resistências à compressão de todos os concretos percebe-se que o concreto dosado por empresa especializada e o concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulin foram os concretos que obtiveram as maiores resistências. Esse resultado já era esperado, devido ao alto consumo de cimento utilizado por esses dois concretos e principalmente por esses dois tipos de concreto terem a menor relação água/cimento entre os demais, pois quanto mais baixo for esta relação maior será o favorecimento da resistência do concreto.

Pela observação do gráfico 17, extrai-se que a variação entre o período de 3 e 7 dias de cura não gerou uma variação significativa nas resistências à compressão dos corpos de prova de concreto, pois o concreto que atingiu a maior diferença entre esses tempos de cura foi o concreto com alto consumo de cimento e utilização de metacaulim que teve uma variação de 5,4% entre a amostra II e amostra III. O concreto com alto consumo de cimento também apresentou a maior variação de resistência à compressão entre as suas três amostras, 21,38% entre a sua amostra III e a sua amostra I.

Constata-se também pela análise da comparação dos dados obtidos para as resistências, que o concreto pobre IPT foi aquele em que o processo de cura menos interferiu em sua resistência à compressão, tendo apenas uma variação de 7,58% entre as suas amostras de maior e menor resistência. Tal fato, possivelmente, pode ter ocorrido por ser um concreto com um consumo menor de cimento necessitando assim de uma quantidade menor de água para obtenção de uma umidade ótima e uma boa hidratação das partículas de cimento, aliado também ao fato coincidente da data do processo de cura ter ocorrido concomitante com as chuvas constantes que caíram no mês de maio na cidade de Aracaju, conforme foi ilustrado na figura 12.

6. CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados e analisados, observa-se a importância de um processo de cura bem executado, uma vez que foi constatado variações de resistências à compressão consideráveis quando se compara as curas em meio saturado com duração de 28 dias em relação ao tipo de cura mais usual no meio da construção civil, aquele exposto em ambiente externo onde não há controle da evaporação da água e das ações das intempéries. Com isso, verificou-se que os corpos de prova de concreto tiveram em média uma perda de capacidade de carga de resistência à compressão de 15,8%, ou seja, a não realização correta do procedimento da cura pode ocasionar que elementos estruturais de concreto estejam trabalhando com uma resistência menor do que aquela considerada no projeto estrutural da edificação, podendo assim comprometer a vida útil da estrutura e até mesmo a segurança estrutural da edificação.

Entretanto, quando se compara as resistências das amostras curadas ao ar livre com 3 e 7 dias de cura, observa-se a tendência em que a amostra curada por um tempo maior apresentar uma resistência superior, mas não é possível estabelecer uma perda tão significativa de resistência entre elas, devido talvez ao período chuvoso coincidente com a execução dos procedimentos de cura desse trabalho.

Por fim, verificou-se que o concreto com a utilização de metacaulim foi aquele que apresentou uma maior discrepância entre as resistências das suas três amostras de cura. Por isso sugere-se para trabalhos futuros analisar a influência do metacaulim nessas variações de resistência à compressão causada pelos distintos processos de cura.

7. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Procedimentos para moldagens e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: **Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro: 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 43: **Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 65: **Cimento Portland – Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7251; **Agregado – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: **Agregados graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 5750: **Amostragem de concreto fresco**. Rio de Janeiro, 1992.

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

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais** – São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Ed. Bookman, Porto Alegre, 2013.

ANDRIOLO, F.R. **Construção de concreto, manual de práticas para controle e execução**. São Paulo: PINI, 1984.

ROMANO, Roberto Cesar de O. CARDOSO, Fábio A. PILEGGI, Rafael G. **Propriedades do Concreto No Estado Fresco. Concreto: Ciência e Tecnologia**, Ed. Geraldo Cechella Isaia, Vol. I , Cap 13. 2011.

PETRUCCI, E.G., **Concreto de Cimento Portland**: São Paulo: Globo, 1998.

MHETA, P.Kumar et. al.. **Estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

OLIVEIRA, I.R. et. al.. **Influência de aditivos dispersantes e acelerador na hidratação decimento e cimento-matriz**. 2006 Tese. 62f. Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de S. Carlos.

PINTO, Valdemir Colares et. al.. **Propriedades mecânicas do concreto submetidas a diferentes tipos de cura**. 2009. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2009.10f. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará.

QUARCIONI, Valdecir Angelo. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais de hidratação do cimento portland: estudo em pasta**. 2008. Tese (doutorado). 172f. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil.

SANTOS, Carla Cristina Nascimento. **A influência das características da areia artificialmente britada nas propriedades do estado fresco do concreto**. 2008. Tese (doutorado). Brasília: Universidade de Brasília - Departamento de Engenharia de Civil.