

**UNIVERSIDADE ALTO VALE DO RIO DO PEIXE - UNIARP  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ALYSSON CEOLLA**

**ESTUDO DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL DE PEGA RÁPIDA**

**CAÇADOR  
2016**

**ALYSSON CEOLLA**

**ESTUDO DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL DE PEGA RÁPIDA**

Monografia apresentada como exigência para a obtenção do título de Bacharel, do Curso de Engenharia Civil, ministrado pela Universidade Alto Vale do Rio do Peixe - UNIARP, sob orientação da professora Me. Gabriela Cassol.

**CAÇADOR  
2016**

# ESTUDO DO CONCRETO AUTO ADENSÁVEL DE PEGA RÁPIDA

ALYSSON CEOLLA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi submetido ao processo de avaliação pela banca examinadora para a obtenção de título de grau de:

**Bacharel em Engenharia Civil.**

E aprovado na sua versão final em 02/12/2016, atendendo às normas da legislação vigente da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe e Coordenação do Curso de Engenharia Civil.



**Dra. Liane da Silva Bueno**

## BANCA EXAMINADORA:



Profª. Me. Gabriela Cassol



Profª. Dr. Liane da Silva Bueno



Profª. Me. Luciane Dusi

## **DEDICATORIA**

A toda minha família, a Deus e a Priscylla por terem me dado todo o apoio necessário para sempre continuar em frente e sempre procurar o sucesso que todos merecemos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, com toda a fé que tenho.

A professora mestre Gabriela Cassol, por auxiliar-me neste trabalho de conclusão de curso, e ajudar-me com o conteúdo.

A empresa Minerocha, meu colega de trabalho Eng. Gustavo Cezar e todos os meus colegas de trabalho, pelo desenvolvimento de ideias para o embasamento e pratica neste trabalho.

A coordenadora e também profa. Dr. Liane e a todos os professores que me ensinaram durante todos esses anos de faculdade, aplicando e cobrando seus conhecimentos passado em sala de aula.

Agradeço imensamente à toda minha família, meu pai, minha mãe e meu irmão pelo incentivo dado a mim nesse tempo de ensino superior, com toda a paciência e amor.

A minha namorada Priscylla Neis Vorel, também colega, ajudando-me e depositando total confiança em nossas ideias, e sempre motivando nossa carreira empresarial e futura. Com todo o amor do mundo dividimos ideais procurando sempre o sucesso.

A todos os amigos e colegas de sala de aula, que estiveram ao meu lado em todos esses anos, em especial Thaelys Rissardi, Kevin Lemes, Lizandra Balbinotti, Gabriel Riegert e Arthur Graeff.

“A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda.”

Confúcio

## RESUMO

No presente trabalho estuda-se e elabora-se um concreto auto adensável de pega rápida, que por sua vez, será a matéria prima de uma impressora 3D focada na construção civil, cujo a ideia é de construir casas automaticamente. Na área da construção, o termo “concreto” é restrito a uma mistura de materiais aglomerantes e agregados, a esse termo referenciamos variações de resistências e aplicações do mesmo. Através de vários ensaios em laboratório, como distribuição granulométrica, massa específica, massa específica aparente, absorção de água, ensaio de Vicat que determinou o tempo de início de pega entre 20-25 minutos e 30-35 minutos com o fim de pega utilizando um aditivo acelerador de pega na pasta de cimento. Assim, associando os dados, define-se a criação de um traço para o concreto auto adensável de pega rápida, após a determinação do traço, rodou-se o concreto, verificou-se a trabalhabilidade e foram confeccionados os corpos de prova. Bem como determinou-se a resistência a compressão dos copos de prova, obteve-se neste trabalho um concreto de fácil manuseio, não necessitando de mão de obra, com diminuição de tempo, alcançando-se resistência normatizada frente ao traço proposto.

**Palavras-Chave:** Concreto. Auto adensável. Pega rápida. Cimento.

## **ABSTRACT**

In the present work, a self-compacting fast-grip concrete is studied and elaborated, which in turn will be the raw material for a 3D printer focused on construction, whose idea is to build houses automatically. In the area of construction, the term "concrete" is restricted to a mixture of binder materials and aggregates, to this term we refer to variations of resistances and applications of the same. Through various laboratory tests, such as particle size distribution, specific mass, apparent specific mass, water uptake, Vicat assay which determined the start time of the handle between 20-25 minutes and 30-35 minutes with the end of handle using a Additive accelerator in the cement paste. Thus, by associating the data, the creation of a trait for the self-compacting fast-grip concrete was defined, after the tracing was determined, the concrete was rolled, the workability was verified and the test pieces were made. As well as the compressive strength of the test cups was determined, a concrete of easy handling was obtained in this work, not requiring manpower, with reduced time, achieving normalized resistance against the proposed trace.

**Keywords:** Concrete. Self-compacting. Grab fast. Cement.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Gráfico Curva Granulométrica Brita 0.....	48
Figura 02 – Gráfico Curva Granulométrica Brita 1.....	49
Figura 03 – Gráfico Curva Granulométrica Areia Natural.....	52
Figura 04 – Gráfico Curva Granulométrica Areia Industrial.....	53
Figura 05 – Ensaio “Slump Flow Test”.....	57
Figura 06 – Gráfico do Ensaio de Compressão.....	58
Figura 07 – Ensaio de Compressão.....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Granulometria Brita 0.....	48
Quadro 02 – Granulometria Brita 1.....	49
Quadro 03 – Caracterização da brita 0 e brita 1.....	50
Quadro 04 – Determinação de Material Pulverulento.....	51
Quadro 05 – Granulometria Areia Natural.....	51
Quadro 06 – Granulometria Areia Industrial.....	52
Quadro 07 – Massa Específica e Aparente.....	54
Quadro 08 – Determinação do Teor de Material Pulverulento.....	54
Quadro 09 – Determinação do Tempo de Pega.....	55
Quadro 10 – Determinação do Traço do Concreto Auto adensável.....	56
Quadro 11 – Ensaio de Compressão.....	57

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

CP – Cimento Portland

UNIARP – Universidade Alto Vale do Rio do Peixe

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA .....	13
1.2 PROBLEMA.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA .....	14
1.4 OBJETIVOS .....	14
1.4.1 Objetivo Geral .....	14
1.4.2 Objetivos Específicos .....	14
1.5 METODOLOGIA.....	15
<b>2 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>16</b>
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1.1 Conceito e Propriedades do Cimento.....	16
2.1.2 Características de Pega da Massa.....	19
2.1.3 Agregados .....	22
2.1.4 Aditivos.....	25
2.1.5 Concreto .....	30
2.1.6 Concreto Fresco .....	31
2.1.7 Características e Efeitos do Concreto .....	35
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
2.2.1 Materiais.....	41
2.2.1.1 Cimento Portland.....	42
2.2.1.2 Agregado miúdo .....	42
2.2.1.3 Agregado graúdo.....	42
2.2.1.4 Aditivos.....	42
2.2.1.5 Água de amassamento.....	43
2.2.2 Métodos.....	43
2.2.2.1 Caracterização do agregado graúdo .....	43
2.2.2.2 Caracterização do agregado miúdo .....	45
2.2.2.3 Determinação do Tempo de Pega.....	46
2.2.2.4 Estudo de Dosagem do Concreto Auto adensável de Pega Rápida .....	46
2.2.2.5 Propriedades do concreto no estado fresco .....	46
2.2.2.6 Propriedades do concreto no estado endurecido .....	47
2.3 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS.....	47

2.3.1 Caracterização do agregado graúdo .....	47
2.3.2 Caracterização do Agregado Miúdo .....	51
2.3.3 Escolha do Aditivo Através do Ensaio de Vicat ... <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
2.3.4 Estudo de Dosagem do Concreto Auto adensável de Pega Rápida .....	55
2.3.5 Propriedades do Concreto no Estado Fresco.....	56
2.3.6 Propriedades do concreto no estado endurecido .....	57
<b>3 CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a tecnologia em ascensão, estão disponíveis vários métodos de construção. Com isto, este projeto está sendo desenvolvido na cidade de Caçador-SC, por alguns alunos da UNIARP, com o objetivo de elaborar uma impressora 3D de grande porte, ou seja, uma máquina com a função de construir casas, a curto prazo. Para tanto se faz necessário, pesquisar um concreto auto adensável com pega rápida, que viabilize a utilização deste material em uma impressora 3D.

### 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Com o mercado em atualização constante, o tempo é de extrema importância para o faturamento de uma empresa de construção civil, constata-se então que um dos problemas mais agravantes na construção é o tempo de pega e cura do concreto, tendo como principal fator a espera das reações químicas para a cura total, portanto o concreto de cura rápida terá o seu tempo de pega e cura reduzido e com um ótimo desempenho com a resistência e durabilidade.

Quando um concreto é lançado em baixas temperaturas, há um maior tempo para realização da pega e posteriormente de cura, portanto a indústria de pré-moldados e de reparos rápidos, dependem de tal função do concreto, mas há um condicionante, quando há uma perda de plasticidade extremamente rápida, pode ocorrer um fenômeno no concreto chamado retração.

Várias pesquisas foram realizadas sobre o concreto de pega rápida, tais pesquisas são objetivas e algumas tentam eliminar a retração. Neste trabalho desenvolveremos um concreto de pega rápida e ao mesmo tempo um auto adensável, que será utilizado em uma impressora 3D de grande porte.

### 1.2 PROBLEMA

Para a obtenção de um concreto de pega rápida, dependemos de vários fatores como temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa, reações químicas, agregados, etc.

Assim dependemos de vários fatores decisivos e de difícil correção para o alcance do objetivo proposto.

Logo, para obter um concreto auto adensável com pega rápida, verificando-se as adversidades inerentes ao processo, como pode ser determinado o melhor traço?

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Buscando novas soluções inovadoras para o mercado da construção civil e elaborando novos modelos de construções tendo em vista custo, tempo e mão de obra. Tem-se o exemplo da impressora 3D criada por uma empresa Chinesa, que tem altura de 5,5m, fabricada no ano de 2015 e constrói casas de até 50m<sup>2</sup> em três horas. Assim sendo, com finalidade em um propósito de elaboração de uma impressora 3D para construção de imóveis, e seu material base um concreto auto adensável de pega rápida, estuda-se neste trabalho este material através de ensaios específicos, visando a redução do tempo final da construção, sem comprometer a qualidade e os custos.

### 1.4 OBJETIVOS

A partir do tema apresentando, os objetivos serão sintetizados em dois tópicos: objetivo geral e objetivos específicos.

#### 1.4.1 Objetivo Geral

Estudar a dosagem do concreto auto adensável de pega rápida, segundo a NBR 15823 (ABNT, 2010).

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar as vantagens do concreto auto adensável de pega rápida na construção civil;
- b) Caracterizar os materiais utilizados;

- c) Comparar dois aditivos aceleradores de pega através do ensaio de determinação do tempo de pega da pasta de cimento Portland utilizando o aparelho de Vicat;
- d) Através do melhor aditivo acelerador de pega, realizar o estudo de dosagem do concreto auto adensável;
- e) Realizar o ensaio de trabalhabilidade do traço de concreto com aditivo acelerador de pega;
- f) Determinar a resistência a compressão do traço de concreto com aditivo acelerador de pega em diferentes idades.

## 1.5 METODOLOGIA

O concreto auto adensável de pega rápida tem o objetivo de diminuir o tempo e de otimizar a da mão de obra.

Para tal, será realizado o estudo de dosagem do concreto auto adensável, sendo realizado o ensaio de trabalhabilidade, teste de Vicat e a resistência à compressão. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Solos da UNIARP, conforme normativas.



## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1.1 Conceito e Propriedades do Cimento

A partir do conceito de alguns autores referente ao cimento aprendemos que: Segundo Bauer (2013, p. 35):

Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

“O clínquer é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente” (BAUER, 2013, p. 35).

Ainda segundo Bauer (2013) Os principais componentes do cimento Portland são a cal ( $\text{CaO}$ ), a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), o óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), certa proporção de magnésia ( $\text{MgO}$ ) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), que é adicionado após a calcinação, para alterar o tempo de pega do produto. Contém ainda alguns constituintes menores, impurezas, óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e mais algumas substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento.

E conforme a definição de Petrucci (1975): O cimento Portland é definido por “Material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre que ao ser misturado com água hidrata-se e produz o endurecimento da pasta, obtendo uma grande resistência mecânica”.

Complementando a definição de cimento Portland, várias adições são acrescentadas para alterar seu tipo como exemplos: Cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os principais componentes do cimento Portland que constituem, geralmente 95 a 96% do total da análise de óxidos. A magnésia, que parece permanecer livre durante todo o processo de calcinação, sempre utilizada na proporção de 2 a 3%, limitada, pelas especificações a um máximo permissível de 5%. No Brasil, esse limite

é um pouco superior (6,4%). Os óxidos menores aparecem em proporção inferior a 1%, excepcionalmente 2% (BAUER, 2013).

Neville (2015), com vasta experiência em concreto, define que cimento é descrito como um material de propriedades adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta.

Neville (2015), abrangendo assim aplicações do cimento Portland, na área da construção, o significado do termo “cimento” é restrito a materiais aglomerantes utilizados como pedras, tijolos, blocos de alvenaria, etc. Os principais constituintes desse tipo de cimento são compostos de calcário, de modo que, em engenharia civil e construções, o interesse é o cimento à base de calcário.

Visto que reagem quimicamente com a água, os cimentos para produção de concreto têm a prioridade de reagir e endurecer sob a água, sendo então denominados cimentos hidráulicos, que são constituídos principalmente de silicatos e aluminato de cálcio e podem ser classificados, de maneira geral, como cimentos naturais, cimentos Portland, suas estruturas e suas propriedades, tanto no estado anidro quanto no estado endurecido (NEVILLE, 2015).

Um cimento com propriedades extraído diretamente nas jazidas são cimentos naturais, são materiais disponíveis na natureza, formados por calcinação de uma dada matéria-prima original compostas de substâncias calcárias e argilosas (BALBO, 2011).

Leonhardt (2008) analisa o processo de fabricação do concreto é um aglomerado constituído de agregados e cimento como aglutinante; é, portanto, uma rocha artificial. A fabricação do concreto é feita pela mistura dos agregados. A fabricação do concreto é feita pela mistura dos agregados com cimento e água, à qual, conforme a necessidade, são acrescentados aditivos, que influenciam as características físicas e químicas do concreto fresco ou endurecido. O concreto fresco é moldado em formas e adensado com vibradores. O endurecimento do concreto começa após poucas horas e, de acordo com o tipo de cimento, atinge aos 28 dias cerca de 60 a 90% de sua resistência. O concreto pode ser fabricado no local, ou ser pré-moldado ou pré misturado. De acordo com a maneira de ser executado distingue-se: concreto fundido, socado, jateado, vibrado, bombeado ou centrifugado.

Como já se definiu, é uma mistura de materiais calcários e argilosos, ou ainda mais um outro tipo de sílica, alumina ou óxido de ferro, que são queimados a uma temperatura até “estalarem”, sendo posteriormente moídos, gerando o clínquer. O cimento Portland, que apresentam coloração cinza como consequência da presença

de óxidos de ferro entre os compostos, são ainda passíveis de subtitificações, em função de alterações químicas em sua composição (BALBO, 2011).

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2002).

Conforme Balbo (2011) explica sobre os componentes químicos reagentes no cimento Portland sendo que após a mistura do cimento com a água, uma série de reações em cadeia e complexas se desenvolve em meio a uma solução saturada, dando início a transformação dos compostos do cimento em novos compostos hidratados e posteriormente anidros, que passamos a descrever. Os silicatos de cálcio ( $C_2S$  e  $C_3S$ ) são formados em meio ao aquecimento conjunto de sílica e cal. Durante a hidratação, são principalmente formados os metassilicatos ( $CaO.SiO_2$ ), com os quais a água praticamente não reage; os ortossilicatos ( $2CaO.SiO_2$ ), sempre presentes nos cimentos e escórias; e ainda o silicato tricálcico, principal produto aglomerante encontrado no cimento Portland.

Em um breve comentário sobre um dos tipos de cimentos mais importantes Cimento de endurecimento rápido ou de alta resistência inicial é o cimento Portland mais finamente moído e levemente alterado em sua composição. Embora o tempo de início de pega seja semelhante ao do cimento Portland comum, seu endurecimento após a pega é muito veloz. Os cimentos de Alta Resistência Inicial (ARI) são geralmente obtidos por meio de uma moagem muito mais enérgica do clínquer, o que resulta no aumento da finura dos grãos de cimento, proporcionando uma aceleração das reações químicas de hidratação em presença de água (BALBO, 2011).

O cimento Portland CPV-ARI de alta resistência inicial, embora contemplado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT como norma divergente do cimento Portland Comum, é na verdade um tipo particular deste, que deve atingir, nos primeiros dias da aplicação, altas resistências, sua diferença é na proporção de calcário e argila na constituição do clínquer, bem como uma moagem mais fina (ABCP, 2002).

Cimento de pega rápida é um cimento com alterações em suas propriedades químicas tal que o tempo de início de pega, após a mistura com água, é extremamente rápido, muitas vezes instantâneo (BALBO, 2011).

Balbo (2011, p. 150) distingue os vários tipos de fabricação do cimento:

São os seguintes os principais tipos de cimento produzidos no território nacional: cimento Portland comum; cimento Portland composto; cimento Portland de alto-forno; cimento Portland pozolânico; cimento Portland de alta resistência inicial; cimento Portland resistente aos sulfatos; cimento Portland de baixo calor de hidratação; cimento Portland branco; mais recentemente foi disponibilizado no mercado o ligante de escória granulada de alto-forno moída, mais direcionado ainda para pavimentação.

As propriedades físicas do cimento Portland são consideradas sob três aspectos distintos: propriedades do produto em sua condição natural, em pó, da mistura de cimento e água e proporções convenientes de pasta e, finalmente, da mistura da pasta com agregado padronizado – as argamassas. As propriedades da pasta e argamassa são relacionadas com o comportamento desse produto quando utilizado, ou seja, as suas propriedades potenciais para a elaboração de concretos e argamassas. Tais propriedades se enquadram em processos artificialmente definidos nos métodos e especificações padronizados, oferecendo sua utilidade quer para o controle de aceitação do produto, quer para a avaliação de suas qualidades para os fins de utilização dos mesmos (BAUER, 2013).

### 2.1.2 Características de Pega da Massa

Leonhardt (2008) diz que o concreto deve conter uma quantidade suficiente de cimento, para atingir a necessária resistência à compressão e proteger as armaduras contra a corrosão. Para isso são prescritos consumos mínimos de cimento, conforme o controle de qualidade da execução da obra, a faixa da curva granulométrica dos agregados, a cara do concreto e o tamanho máximo dos grãos, de modo a ficarem compreendidos entre  $Z = 140$  e  $380 \text{ kg/m}^3$ .

Nas regiões de clima frio, a temperatura pode ser tão baixa, que ocasionará um retardamento no início da pega. Para que isso não ocorra, convém estocar o cimento em locais protegidos de temperaturas abaixo de  $12^\circ\text{C}$ . (ABCP, 2002).

A água é um dos fatores mais importantes na confecção do concreto, assim, na reação química de pega é consumida uma quantidade de água de cerca de 15% do peso de cimento; para a hidratação completa do cimento, são necessários 36 a 42%. Uma outra parcela de água é necessária para a trabalhabilidade; essa parcela cresce com o módulo de finura do cimento e dos agregados. A água não consumida na reação de pega provoca retração e porosidade; quanto maior o teor de água,

maiores serão os encurtamentos devidos à retração e à deformação lenta. Com o aumento do teor de água, diminuem também a resistência e o módulo de elasticidade; assim sendo, para cada consumo de cimento, e para uma dada curva granulométrica, existe um “ótimo” de resistência à compressão, correspondente a um valor do fator água-cimento (LEONHARDT, 2008).

Para se obter maior trabalhabilidade e textura mais densa, o concreto deve conter um certo teor de finos. Como tais, devem ser considerados o aglomerante e a parcela de grãos dos agregados compreendida entre 0 e 0,25mm (LEONHARDT, 2008).

Recena (2014, p.59) cita aspectos sobre o tempo de pega: “O retardo no tempo de início de pega de um concreto inibirá a elevação adiabática da temperatura, o que pode contribuir para retardar a evaporação.”

Relata Leonhardt (2008) sobre a pega e o endurecimento do concreto são muito influenciados pelo tipo de cimento, pela temperatura e pela umidade. O aumento da resistência não está limitado ao período de 28 dias; o aumento subsequente da resistência com a idade é designado por endurecimento posterior.

A pega do cimento é o tempo decorrido entre a adição de água ao material e o início das reações de hidratação, sendo que tal fenômeno é evidenciado pelo aumento brusco da viscosidade do concreto (ou pasta da argamassa), bem como pela elevação da temperatura no cerne do material em questão. O fim de pega é verificado quando, sob a ação de pequenas cargas, a pasta não mais apresenta deformações plásticas, o que não pode ser confundido com o final da fase de endurecimento ou de hidratação, que, em tese, consome anos e anos a fio (BALBO, 2011).

É preciso entender que o tempo de início de pega de um cimento é determinado sobre a pasta de consistência normal em laboratório, com umidade e temperatura controladas, sendo um referencial, mas nunca podendo ser transposto para o concreto (RECENA, 2014).

“A pega do cimento é afetada pelo teor de C3A nele, por sua finura, pela temperatura da massa, pelas adições presentes no cimento bem como pela presença de certas substâncias na água ou nos agregados” (BALBO, 2011, p. 150).

“A cura do concreto tem importância preponderante nas características de resistências. A cura do concreto submerso em água permite a progressiva formação de gel na parte do cimento, tornando-o mais e mais resistente e impermeável. ” (BAUER, 2013, p. 384).

A pega do cimento, no entanto, é uma reação que desenvolve lentamente e tem início antes do tempo determinado no ensaio e é, como qualquer reação química, acelerada pela elevação da temperatura. Um transporte demorado em condições adversas, ou seja, em condições climáticas que favoreçam a evaporação, poderá determinar perda de abatimento cuja restituição, pela adição de água, comprometerá a resistência mecânica (RECENA, 2014).

Bauer (2013, p. 262) cita alguns métodos de cura do concreto, como:

- Irrigação ou Aspersão de água: Um dos métodos mais simples de proteção do concreto fresco é a utilização contínua de irrigação da superfície exposta ou a aspersão de água em intervalos frequentes, pois quando utilizado, deve-se ter precaução para que não ocorra um secamento muito profundo, afim de evitar fadiga superficial devia às dilatações e contrações frequentes, em idades nas quais o concreto ainda não desenvolveu por completo sua resistência mecânica.
- Submersão: É, sem dúvida, o método ideal de cura, só que sua aplicação é restrita e em geral nada prática. Pode ser empregado com sucesso em lajes e pisos e pavimentos em que há grande superfície exposta e quando não há necessidade da utilização da superfície nos primeiros dias.
- Recobrimento: Muito utilizada em obras é a proteção do concreto com recobrimento, para evitar a ação direta do sol e do vento, deve ser realizado, preferivelmente, mantendo a umidade; pode utilizar-se, para tal fim, areia, terra, sacos de aniagem rompidos, etc.
- Conservação das Formas: Apenas aplicável, evidentemente, em peças nas quais as formas protegem a maior parte da superfície, tais como pilares e, em geral, vigas. Ainda assim, tratando-se de formas de madeira ou equivalentes, devem-se tomar precauções de molhá-las em intervalos frequentes, para impedir a evaporação através da madeira.
- Impermeabilização por Pinturas: Há inúmeras tintas, resinas e produtos asfálticos ou derivados de alcatrão que se prestam a pinturas de concretos. Estas têm, em geral, caráter permanente, ou pelo menos não se restringem ao período inicial de cura propriamente dita.
- Aplicação de Cloreto de Cálcio: A aplicação superficial do cloreto de cálcio, na proporção de 800g a 1kg por m<sup>2</sup>, provoca a absorção de água do ambiente, mantendo úmida a superfície. A posterior remoção de sal é importante em peças cujo recobrimento das armaduras é delgado e em que poderia, ao longo do tempo, ser favorecido ao ataque químico das armaduras.
- Membranas de Cura: As membranas de cura mantêm a impermeabilidade superficial do concreto por um certo período de tempo, em geral 3 a 4 semanas, evitando assim, a rápida secagem do concreto, através de um filme impermeável que dura aproximadamente esse tempo. Esse processo é de interesse especial na proteção de lajes, pisos e pavimentos de pistas, tornando-se de importância vital quando os concretos são confeccionados com cimentos pozolânicos ou escórias, já que estes cimentos, com reação mais lenta, têm menos poder de retenção de água

“O endurecimento da pasta de cimento é causado pelo engavetamento de cristais formados em solução supersaturada de compostos hidratados” (BALBO, 2011, p. 150).

A hidratação inicia-se na superfície das partículas de cimento. Quanto mais finas as partículas de cimento, mais a superfície específica aumenta, fazendo com que a hidratação seja muito mais veloz, como no caso do cimento de alta resistência inicial. Em um quilograma de cimento Portland tem-se cerca de  $7 \times 10^9$  partículas de cimento, que seriam equivalentes a uma área de  $350\text{m}^2$ . Quanto mais fino, mais esta área é aumentada. A densidade do cimento Portland é de cerca de  $31,50\text{kN/m}^3$ . Com o aumento do calor de hidratação, a atuação de mecanismos de retração torna-se mais intensa exigindo maior esforço no controle de concretos e materiais estabilizados em pista durante o período de cura (BALBO, 2011).

“Para acelerar o endurecimento de pega. Esses produtos contêm geralmente cloreto de cálcio que, mesmo em pequenas quantidades, pode provocar corrosão. É melhor utilizar cimento de alta resistência inicial” (LEONHARDT, 2008, p. 7).

“Importantes propriedades do concreto, como por exemplo, a trabalhabilidade do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido, são determinadas pelo teor de cimento e pelo teor de água do concreto fresco” (LEONHARDT, 2008, p. 7).

### 2.1.3 Agregados

Bauer (2013, p. 63) define agregado como “Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto. Nos outros ramos da construção é conhecido conforme cada caso, pelo nome específico: filler, pedra britada, bica corrida, rachão, etc.”

A análise granulométrica tem por fim determinar a espessura e a porcentagem dos agregados, deixando entre eles vazios mínimos. Para chegar a esse resultado procede-se por peneiramentos sucessivos com passadores com furos de diâmetros variáveis (BAUD, 2012).

“Os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente” (BAUER, 2013, p. 63).

Conforme Bauer (2013, p. 64):

Os agregados são industrializados e tem suas definições:

- Brita: Agregado obtido a partir de tochas compactas que ocorrem em depósitos geológicos- jazidas, pelo processo industrial da cominuição, ou fragmentação controlada da tocha maciça. Os produtos finais enquadram-se em diversas categorias.
- Pedra Britada: Brita produzida em cinco graduações, denominadas, em ordem crescente de diâmetro médios: pedrisco, pedra 1, pedra 2, pedra 3 e pedra 4.
- Pó de pedra: Material mais fino que o pedrisco. Sua graduação genérica, mas não rigorosa é 0/4,8.
- Areia de Brita: Agregado obtido dos finos resultantes da produção da brita, com quais se retira a graduação inferior a 0,15mm. Sua graduação é 0,15/4,8.
- Fíler: Agregado de graduação 0,005/0,075. Seus grãos são da mesma ordem de grandeza dos grãos de cimento.
- Bica-Corrida: Material britado no estado em que se encontra à saída do britador: Primária quando deixa o britador primário, com graduação aproximada de 0/300, dependendo da regulagem e tipo do britador; secundária, quando deixa o britador secundário, com graduação aproximada de 0/76.
- Rachão: Agregado constituído do material que passa no britador primário e é retido na peneira de 76mm. É a fração acima de 76mm da bica corrida primária. A NBR 9935 define rachão como “pedra de mão”, de dimensões entre 76 e 250mm.
- Restolho: Material granular, de grãos em geral friáveis. Pode conter parcelas de solo.
- Blocos: Fragmento de rocha de dimensões acima do metro, resultantes dos fogos de bancada, que, depois de devidamente reduzidos em tamanho, vão abastecer o britador primário.

Para obter misturas da melhor solidez possível, é preferível sempre ajuntar agregados de categorias bem definidas. Assim, no canteiro, armazenam-se os componentes, areia e brita separadamente, A mistura pode ser feita pela combinação de diferentes dosagens (BAUD, 2002).

Massa específica é a massa da unidade de volume do material que se constituem os grãos do agregado, massa específica aparente é a unidade de volume do agregado. Pela NBR 7251 (ABNT, 1982), é determinada preenchendo-se com o agregado, até as bordas, em recipiente de dimensões bem conhecidas, deixando-o cair de altura de não mais que 10cm (BAUER, 2013).

Bauer (2013) relata sobre o ensaio de massa específica da água que é absorvida pelos grãos dos agregados miúdos. O ensaio é feito segundo a NBR 9775 (ABNT, 1987), empregando-se um frasco graduado especial denominado frasco Chapman. Por meio dele, mede-se o volume e, conseqüentemente, fica-se conhecendo o peso da água absorvida. Esse peso, expresso em porcentagem do peso do agregado seco, é o teor de umidade superficial. Para executar o ensaio é preciso conhecer previamente a massa específica absoluta dos grãos da amostra a ensaiar. A absorção de água é devida aos poros existentes no material dos grãos.



Trata-se, nos ensaios, de medir a quantidade de água absorvida que, conforme as normas NBR 9937 (ABNT, 1987) e NBR 9777 (ABNT, 1987), exprime-se pelo teor de água absorvida no estado “saturado-superfície seca”, em porcentagem do peso da amostra seca.

Afirma Allen (2009, p. 522) “Como os agregados compõem aproximadamente três quartos do volume do concreto, a resistência é fortemente dependente da qualidade de seus agregados. ”

Dá-se o nome de inchamento ao aumento de volume que sofre a areia seca ao absorver água. O procedimento para determinação do inchamento é, em síntese, o seguinte: a amostra é previamente secada em estufa, sendo seus pesos específicos aparentes determinados para diversos teores de umidade. Para cada teor de umidade é calculado o coeficiente de inchamento, isto é: a relação entre o volume do agregado com o teor de umidade e o volume do mesmo agregado quando seco (BAUER, 2013).

A resistência a compressão, do concreto, depende do fator água/cimento, que por sua vez, depende da distribuição granulométrica do agregado que deverá ser tal que permita uma mistura máxima compacidade, compatível com a peça a concretar (BAUER, 2013).

Quanto a durabilidade o agregado deve ser inerte, não reagindo com os agentes a que o concreto estiver exposto. Não deve conter produtos que possam reagir com o aço e armadura (BAUER, 2013).

Os agregados para concreto devem ser resistentes e limpos, ter boa durabilidade frente ao processo de gelo-degelo, ser estáveis quimicamente, e apresentar uma distribuição granulométrica adequada. Um agregado com material pulverulento ou argila irá contaminar o concreto, com partículas inertes, que o enfraquecem (ALLEN, 2009).

Declara Bauer (2013) que a forma dos grãos é a característica que mais afeta a trabalhabilidade de um concreto se mantidas inalteradas as demais variáveis do traço. Os grãos cuboides do cascalho permitem trabalhabilidade muito superior à dos grãos lamelares e alongados do basalto. Os grãos do granito, se produzidos em britadores apropriados, ficam em posição intermediária. A distribuição granulométrica do agregado é outro fator que também afeta a trabalhabilidade, por depender dela a quantidade de água necessária à obtenção do fator água/cimento desejado. Os agregados muito finos necessitam de mais água para conseguir trabalhabilidade necessária ao tipo de concreto desejado.

A distribuição granulométrica dos agregados é importante devido à grande variação do tamanho de partículas que deve ser incluída e dosada em cada mistura de concreto, visando alcançar um maior empacotamento das partículas, os agregados para concreto são graduados segundo suas dimensões ao passar-se uma amostra por uma série de peneiras padrão (ALLEN, 2009).

A ascensão capilar, ao contrário da permeabilidade, diminui quando aumenta o diâmetro médio dos capilares. Para um determinado concreto, se o nível da água externa que dá lugar à ascensão capilar se eleva, aumenta a pressão capilar, dando lugar ao que ocorre na permeabilidade, onde a vazão aumenta com o aumento da pressão. Se a permeabilidade não apresentar inconvenientes, é possível reduzir a ascensão capilar preparando-se concreto sem finos ou com areia grossa, do que resultam grandes capilares. Para evitar ao mesmo tempo a permeabilidade e a higroscopia, a solução é o emprego de aditivos incorporadores de ar (BAUER, 2013).

#### 2.1.4 Aditivos

Afirma Bauer (2013, p. 135):

Pode-se definir como aditivo todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogeneizado, faz aparecer ou reforça certas características. As Normas Norte-Americanas (ASTM C 125) definem aditivo como “Material outro que não água, agregado ou cimento, empregado como ingrediente do concreto ou da argamassa, adicionado a estes antes ou durante a mistura.

A classificação dos aditivos pode ser baseada na ação ou nos efeitos, o critério baseado na ação é mais científico e distingue apenas as ações puramente química, física ou físico-química, entende-se por ação química aquela que modifica a solubilidade dos compostos do cimento. Como exemplo, alguns produtos que aceleram a dissolução de cal ou do alumínio ou da sílica, acelerando o processo, enquanto que outros formam como que uma proteção às fases anidras, retardando a hidratação. Os aditivos de ação química modificam em um ou em outro sentido a cinética do processo de hidratação. Por ação física entende-se aquela que, por forças de absorção de Vander Waals de natureza tenso-ativa, modifica a tensão superficial da fase líquida e ainda, a tensão interfacial entre está e as fases sólidas ou gasosa. Em outras palavras, pode-se dizer que os tenso-ativos fazem com que as moléculas

de água nas interfaces “água-ar” e “água-sólido” tenham menor coesão. Assim sendo, aumentam a capacidade de molhabilidade (umectação) da água, bem como seu poder de penetração. Por ação físico-química, entende-se aquela que por efeito físico modifica a tensão superficial e interfacial água – “água x ar” e “água x sólido”, e por efeito químico modifica a cinética do processo de hidratação (BAUER, 2013).

Aditivos são produtos adicionados ao concreto, que tem como função, melhorar o seu desempenho. Dentre inúmeros tipos de aditivos existentes, os mais utilizados são os aditivos plastificantes, os aceleradores e redutores de pega, os aditivos impermeabilizantes, e muitos outros, tais como, redutores de água, incorporadores de ar, expansores, ligantes, redutores de reação alcali-agregados, fungicidas, germicidas, inseticidas e colorantes (RIBEIRO, 2002).

Bauer (2013, p. 154) ainda descreve algumas observações sobre aditivos:

- Variação permissível nos resultados dos ensaios. A finalidade de ter sido especificado o valor 90%, como percentagem mínima de resistência à compressão dos corpos de prova preparados com aditivo, em relação à resistência dos corpos de prova preparados sem aditivos, é a delimitação do nível de comportamento do concreto.
- O concreto preparado com retardador deve ter o tempo de pega inicial retardado em pelo menos 1 hora, porém, em não mais que 3 horas, em relação ao preparo sem aditivo.
- O acelerador deve proporcionar o início de pega pelo menos de 1 hora, porém, em não mais que 3 horas antes do início de pega do “concreto de referência”, preparado sem aditivo.
- Os aditivos não especificamente modificadores dos tempos de pega devem proporcionar tempos de início e de fim de pega não maiores que uma hora.
- A resistência à compressão ou flexão do concreto preparado com aditivo e qualquer outra idade inferior. Esta restrição tem por finalidade impedir que, por efeito do aditivo, a resistência venha a decrescer com o tempo.
- Variação de comprimento: Os corpos de prova prismáticos devem ser moldados e ensaiados de acordo com ADTM C157. Comprimento do prisma 10”, precisão de leitura 0,001% de 10”. Período de cura úmida 14 dias.
- Caso a retração da barra padrão for de 0,030% ou maior, a retração da barra preparada com aditivo deve ser anotada em percentagem da retração do padrão e não deve exceder 135%. Caso a retração da barra. Caso a retração da barra padrão seja menor do que 0,030%, a retração da barra preparada com aditivo não deve ser maior do que  $(x + 0,010\%)$ , onde  $x$  é a retração percentual da barra-padrão. Convém lembrar que os efeitos do aditivo na retração podem variar com as propriedades de outros elementos do concreto.
- Para as finalidades das especificações, considera-se como exsudação a que ocorre durante o período subsequente ao momento em que a resistência à penetração, oferecida pela argamassa retirada do concreto e peneirada, for igual a  $7\text{kg/cm}^2$  (100psi). A exsudação deve ser expressa em percentagem do volume de água empregada na mistura.

A redução de água no concreto é da ordem de 10 a 33%. Tal redução permite que os concretos apresentem, nas idades 3, 7 e 28 dias, resistências da ordem de 110 a 245% maiores do que as do concreto padrão, preparado sem aditivo e da ordem de 100% a 140% maiores que do concreto preparado com lignosulfonato de cálcio. As reduções de água dependem, como no caso dos demais aditivos, da dosagem, temperatura, agregador, etc. (BAUER, 2013).

Os aditivos são ingredientes, da mistura de concreto além do cimento Portland, da água e dos agregados e que afetam sua trabalhabilidade, durabilidade e economia (PEURIFOY, 2015).

Denomina-se acelerador o material que, adicionado ao concreto, diminui o tempo de início de pega e desenvolve mais rapidamente as resistências iniciais (BAUER, 2013).

Os aditivos incorporadores de ar criam bolhas de ar microscópicas para a redução da pressão interna quando a água está dentro do concreto endurecido, se expande com o congelamento (PEURIFOY, 2015).

Os aceleradores que combinam quimicamente com o cimento durante a hidratação e os estabilizadores que, somente pela sua presença facilitam e apresam a hidratação (catalizadores) ou endurecimento. Os produtos químicos que aceleram a pega do cimento são: cloreto de cálcio, cloreto de sódio, carbonatos, silicatos, fluossilicatos e hidróxidos, e entre os catalizadores, a trietanolamina composta com outras substâncias. Há ainda o processo denominado “inseminação” do cimento novo com cimento Portland já hidratado e finalmente moído. Este cimento acelera a cristalização do gel do cimento novo, não funcionando como um componente do concreto, mas como um aditivo cujas partículas constituem, durante a pega, elementos catalizadores, o efeito deste procedimento é mais sensível quando o concreto pode ser revibrado durante o período de pega e antes do início do endurecimento. São também melhores os resultados quando o pó do cimento hidratado é adicionado na fábrica de cimento, onde há possibilidade de melhor controle. Os aceleradores são empregados com a finalidade de modificar as propriedades do concreto no que diz respeito a redução do tempo de pega inicial e final, esse efeito varia com quantidade de aditivo empregado e temperatura ambiente e do concreto (BAUER, 2013).

Os aditivos redutores de água diminuem o teor de umidade necessário em cerca de 5 a 10% a fim de aumentar a resistência do concreto e criar uma velocidade de pega mais consistente (PEURIFOY, 2015).

Segundo Bauer (2013) o aumento da resistência à compressão é nas primeiras idades. As resistências finais podem ser reduzidas, um aumento da variação de volume que parece ocorrer, tanto para concreto submetido à cura úmida, quanto curado ao ar, a resistência aos sulfatos que é diminuída. Aumento da reação provocada pelos álcalis dos agregados. Corrosão dos metais o cloreto de cálcio não deve ser usado em concreto curado a vapor, a menos que testes específicos comprovem a viabilidade de seu emprego. Causa ainda a corrosão de formas metálicas incorporadas à estrutura e de barras de aço de armadura, quando o recobrimento de concreto é insuficiente.

“O cloreto de cálcio acelera o desprendimento do calor de hidratação, não tendo, no entanto, efeito sobre a quantidade total de calor desprendido” (BAUER, 2013, p. 169).

As matérias plásticas podem ser aditivadas com substâncias que retardem o calor de hidratação, que podem ter o objetivo de aumentar a resistência do material à ativação do fogo (BERTOLINI, 2006).

O cloreto de sódio, empregado no preparo de concreto usado na moldagem de elementos estruturais armados com aço simples ou especial, mas que tenham peças de alumínio ou galvanizados, embutidos em sua massa, acarreta a formação de pequenos circuitos elétricos que ocasionam ou agravam a corrosão dos metais. Cloreto de cálcio não deve ser empregado em concreto destinado à moldagem de elementos estruturais protendidos, pela possível corrosão por ele causada, das barras protendidas. O cloreto pode ser empregado em quantidade de até 2% (dois) do peso do cimento. Com esta proporção podem-se obter aumentos de resistência da ordem 40 a 90% nas primeiras 24 horas de endurecimento e de 30% aos 3 dias, o emprego do cloreto em maiores proporções não acarreta qualquer melhoria adicional no processo de aumento de resistência inicial e causa ainda uma série de inconvenientes, os efeitos são mais sensíveis com o aumento da temperatura ambiente. Como sua reação é exotérmica, pode ser utilizado no preparo do concreto em dias de baixa temperatura ambiente, convém ainda notar que o cloreto de cálcio tem pouco efeito sobre o tempo de pega do cimento. Quando, no entanto, é adicionado à mistura, em pó ou recém dissolvido, produz uma diminuição do tempo de pega,

graças ao aumento da temperatura da água causado pela reação exotérmica da solução do cloreto, o cloreto de cálcio deve ser empregado em solução preparada com bastante antecipação (BAUER, 2013).

Aditivos superfluidificantes são indispensáveis, para obter um concreto fresco trabalhável, caso requeira uma baixa relação água/cimento, para garantir resistência a compressão ou os requisitos de durabilidade (BERTOLINI, 2006).

Bauer (2013) relata que o catalizador mais comum é a trietanolamina, é menos eficaz que o cloreto de cálcio como acelerador, porém oferece a vantagem de não provocar nenhuma corrosão no aço, e pode ser empregado em concretos protendidos. Os aumentos de resistência verificados nas primeiras idades se mantêm durante períodos mais elevados que no caso do cloreto de cálcio, seu efeito é influenciado pela composição do cimento empregado, é mais eficaz quando usado com cimento de alto teor de C<sub>3</sub>A.

“Aceleradores de pega ou aceleradores ultra-rápidos são aditivos empregados para provocar a pega ultra-rápida do cimento, são empregados nos casos de selamento de vazamento de água” (BAUER, 2013, p. 170).

Aditivos para concreto de cimento Portland, definido como produto químico adicionado em pequenas quantidades, modificando as propriedades do concreto, no sentido de melhor ajuda-las em determinadas condições (MELO, 2006).

“Normalmente apresentam-se sob a forma líquida, para serem adicionados diretamente ao cimento ou à argamassa seca, o endurecimento pode ser quase instantâneo, no entanto, pode variar o tempo de pega diluindo-se o aditivo” (BAUER, 2013, p. 171).

“Aceleradores e redutores podem ser empregados simultaneamente, pois que o dispersante, ao reduzir o fator água/cimento, garante uma melhoria de resistência em idade mais avançadas e diminui o efeito de retração causada pelo acelerador” (BAUER, 2013, p. 171).

NBR 6118 (ABNT, 1995) subitem 12.3:

O amassamento manual do concreto, a empregar-se excepcionalmente em pequenos volumes ou em obras de pouca importância, deverá ser realizado sobre um estrado ou superfície plana impermeável e resistente. Misturar-se-ão primeiramente, a seco, os agregados e o cimento, de maneira a obter-se cor uniforme; em seguida, adicionar-se-á aos poucos a água necessária, prosseguindo-se a mistura até conseguir-se massa de aspecto uniforme. Não será permitido amassar-se, de cada vez, volume de concreto superior ao correspondente a 100kg de cimento. ”

“O amassamento mecânico em canteiro deverá durar, sem interrupção, o tempo necessário para permitir a homogeneização da mistura de todos os elementos, inclusive eventuais aditivos; a duração necessária aumenta com volume da amassada e será tanto maior quanto mais seco o concreto” (NBR 6118, ABNT, 2014).

Não há ordem para a colocação dos materiais na betoneira, pois depende das dimensões de cada um, porém nunca se deve colocar o cimento primeiro para evitar desperdício (BAUER, 2013).

Os superplastificantes são aditivos, conhecidos como redutores de água de alta eficiência, por serem capaz de reduzir o teor de água três vezes mais, para uma dada mistura, quando comparados com aditivos plastificantes, são tensoativos, ou seja, tem a capacidade de diminuir a tensão superficial de cadeia longa, possuem massa molecular elevada e um grande número de grupos polares na cadeia de hidrocarbonetos (MELO, 2006).

Bauer (2013) Para realizar o lançamento em formas ou local de aplicação aconselha-se a seguir três operações fundamentais: preparar a superfície antes de receber o concreto, colocar o material transportado no local da aplicação e a maneira como deve ficar depositado, de modo a receber a compactação, Também definido como lançamento o concreto submerso ou injetado, onde necessitam de uma mão de obra especializada.

#### 2.1.5 Concreto

Para o melhor aproveitamento de tempo deve-se realizar um plano de concretagem, juntamente com o engenheiro estrutural, o engenheiro construtor, o projetista, para saber todos os equipamentos necessário para o lançamento do concreto, prazos e planos de retirada das formas, colocação de ferragem adicional nos pontos de parada de concretagem. Para o início do lançamento do concreto, deve estar pronta toda parte de ferragem, em via de regra, realizar sempre a concretagem estrutural antes da arquitetônica. Para realizar o adensamento no concreto, deve-se compacta-lo através de processos manuais ou mecânicos, que provocam a saída do ar e facilitam a disposição dos agregados dentro do concreto, dentre os processos podemos citar: manual ou apiloamento; mecânico; apiloamento; vibração; centrifugação; a vácuo. No adensamento manual, a execução tem que ser em

concreto plástico entre 5 e 12 cm no abatimento. No adensamento mecânico era utilizado o apiloamento, que detinha de soquetes, que se aplicavam 100 a 150 golpes por minuto sobre o concreto, essa máquina era conhecida como sapo, na atualidade a vibração é comumente utilizada, pois as partículas do concreto são sujeitas a movimentação oscilatória, e a diminuição dos números de vazios no concreto (BAUER, 2013).

A resistência de um concreto a uma certa idade, curado adequadamente e a uma temperatura estabelecida, depende basicamente de dois fatores, sendo a relação água/cimento e o grau de adensamento (MELO, 2006).

“Cura do concreto são várias medidas adotadas para evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto para realizar a hidratação do cimento” (BAUER, 2013, p. 236).

A cura tem como objetivo manter a água de mistura no interior do concreto até completa hidratação do cimento, se a cura não for bem feita, ocorre redução de resistência de concreto, podendo aparecer fissuras na estrutura (PORTO, 2015).

Um bom concreto tem várias qualidades de acordo com uma boa cura, como resistência mecânica ruptura e ao desgaste; impermeabilidade e resistência ao ataque de agentes agressivos. A boa cura deve-se começar juntamente com o lançamento do concreto, pois o mesmo é extremamente sensível ao sol e ação do vento, provocando a evaporação da água da mistura, assim sendo impossibilita a hidratação do cimento, e promove um forte aumento no fenômeno de retração, que é o aparecimento de fissuras e trincas, tornando o concreto menos resistente (BAUER, 2013).

#### 2.1.6 Concreto Fresco

Para realização de um teste rápido de resistência, pega-se um cubo de ensaio, duas horas após sua preparação, durante seis horas em estufa aquecida a 80°C, logo após seu resfriamento, ocorre seu rompimento com valor preciso de resistência a 28 dias (LEONHARDT, 2008).

O concreto fresco é constituído dos agregados miúdo e graúdo envolvidos por pasta de cimento e espaços cheios de ar. A pasta, por sua vez, é composta essencialmente de uma solução aquosa e grãos de cimento. O conjunto pasta e espaços cheios de ar é modernamente chamado matriz, denominação já consagrada



para a rocha que envolve um fóssil. O ar pode encontrar-se envolvido pela pasta, sob a forma de bolhas, ou em espaços interligados, determinando através da predominância de uma dessas formas de apresentação, respectivamente, a plasticidade ou a não plasticidade da mistura. Os valores da resistência e de outras propriedades do concreto endurecido são limitados pela composição da matriz, particularmente pelo seu teor de cimento. Essa composição pode ser expressa pela relação vazios/cimento ou pelo seu inverso, considerando-se como vazios o volume de ar e água da matriz. Na maioria dos casos, os vazios são ocupados principalmente por água, o que torna possível estabelecer a composição da matriz em termos de fator água/cimento. Essa regra, porém, é discutível, quando a mistura possui ar artificialmente incorporado, tendo em vista a qualidade do concreto endurecido, as propriedades desejáveis para o concreto fresco são as que asseguram a obtenção de mistura de fácil transporte, lançamento e adensamento, sem segregação, e que, depois do endurecimento, se apresenta homogênea, com o mínimo de vazios (BAUER, 2013).

O concreto fresco detém da trabalhabilidade sendo a facilidade de aplicar o concreto em determinada estrutura (SENAI, 2013).

Cada processo de mistura, transporte, lançamento e adensamento exige que a trabalhabilidade do concreto fique dentro de determinados limites, para que não haja segregação e possa ser realizada uma conveniente compactação. Uma mistura manual ou mecanizada, um transporte em carro de mão ou bomba, um lançamento com pás ou calhas, um adensamento manual, vibratório, a vácuo ou centrifugado exigem trabalhabilidades diferentes. Cumpre ressaltar não ser a influência desses fatores sempre no mesmo sentido, e isso assume particular importância quando se considera o conjunto de todos eles, como este trabalho trata principalmente das propriedades do concreto fresco, os detalhes da produção, transporte, lançamento e adensamento do concreto não são aqui apresentados. Constituem exceção, no entanto, os fatos que, dependentes dos equipamentos utilizados, estão diretamente ligados a essas propriedades. No caso da produção, por exemplo, merecem atenção a necessidade de obtenção de uma mistura homogênea e o tempo de mistura. Esse tempo varia com o tipo da betoneira, embora, na realidade, seja o número de revoluções a característica mais importante a ser fixada para obtenção de uma mistura homogênea. De um modo geral, as 20 revoluções são suficientes. Desde que haja

uma velocidade de rotação recomendada pelo fabricante da betoneira, o número de revoluções e o tempo de mistura são dependentes entre si (BAUER, 2013).

A exsudação é a separação da água de amassamento, quando adicionada em excesso, do restante dos componentes do concreto (SENAI, 2013).

“Nas misturas de concreto fresco, para bombeamento, é o relativo à necessidade da presença de um suficiente teor de materiais bem mais finos que a areia, inclusive o cimento para lubrificação dos tubos” (BAUER, 2013 p. 238).

A consistência do concreto é a facilidade de o concreto se deformar sob a ação de determinado esforço (SENAI, 2013).

A compacidade, é definida como uma propriedade do concreto fresco que determina a quantidade de trabalho interno necessária à completa compactação. O peso específico de uma amostra do concreto, comparado com o obtido teoricamente, a partir dos pesos específicos dos componentes, poderá caracterizar essa propriedade, a mobilidade, por sua vez, pode ser definida como a propriedade inversamente proporcional à resistência interna à deformação, e depende de três características do concreto fresco, ângulo de atrito interno, coesão e viscosidade. Muitos pesquisadores têm determinado essas características do concreto, na tentativa de explicar o comportamento do concreto fresco durante seu transporte, lançamento, adensamento e acabamento (BAUER, 2013).

Uma mistura de cimento, agregado e água, com teores de água abaixo do correspondente ao inchamento máximo, apresenta continuidade nos espaços cheios de ar. Quando o teor de água cresce acima daquele valor, o total de vazios diminui, havendo um aumento da proporção entre os vazios ocupados pela água e aquele total. Dessa forma, os espaços cheios de ar tornam-se completamente cercado pela água, havendo tendência à penetração nas cavidades, o que aumenta a pressão do ar; este se torna a principal ação oponente à força resultante da tensão superficial. Como é sabido, essa tensão é a maior responsável pela estrutura. Finalmente, a força é totalmente equilibrada pela pressão do ar e parte da cavidade cheia de ar torna-se esférica (BAUER, 2013).

A cal ou óxido de cálcio, como já mencionado, é derivada do carbonato de cálcio, trata-se de substância amorfa, friável e de coloração branca, a sílica ou dióxido de silício está presente nas argilas e nas lateritas empregadas na fabricação do cimento, sendo o principal componente das pozolanas, o que confere aos cimentos pozolânicos reações e resultados semelhantes ao emprego de sílicas ativas. Após a

combinação da sílica com a água, emergem os chamados géis de silício, responsáveis por grande parte da resistência dos cimentos hidratados, a alumina apresenta-se na forma de compostos inorgânicos e de maneira combinada com a sílica. Já os óxidos de ferro ocorrem em pequena quantidade e tem sua origem nas argilas e lateritas, em contrapartida, ocorrem em quantidade elevada no caso de cimentos aluminosos fabricados com bauxita (BALDO, 2011).

“O silicato tricálcico é o maior responsável pela resistência em todas as idades especialmente até o fim do primeiro mês de cura. O silicato bicálcico é responsável pelo endurecimento e resistência em idades mais avançadas” (BAUER, 2013, p. 239).

Existem algumas coisas impossíveis de serem revogadas, como é o caso da força de gravidade. Nos ligantes hidráulicos, ocorre uma série de fenômenos que são genericamente descritos por retração, que, não podendo ser plenamente evitados, devem ser objeto de controle rigoroso, para a garantia do desempenho de camadas de pavimentos como concretos e solos e agregados estabilizados com cimentos. O cimento, qualquer que seja ele, ao entrar em contato com a água, já ocasiona uma contração química na massa do concreto, por exemplo, que equivale a uma redução de cerca de 25,5% no volume de água, antes do início da pega. Contudo, a retração é um fenômeno posterior a isso, que possui vários mecanismos, sendo que sua consequência é a formação de fissuras no material (BALBO, 2011).

“O aluminato tricálcico também contribui para a resistência especialmente no primeiro dia. O ferro aluminato de cálcio em nada contribui para resistência” (BAUER, 2013, p. 239).

Após mistura do cimento Portland com água, seus compostos são atacados e decompostos, formando soluções supersaturadas e instáveis, que vão paulatinamente se estabilizando à medida que, pouco a pouco, compostos sólidos vão sendo depositados. A taxa com a qual a hidratação procede é determinada pela natureza química dos compostos. A hidratação do cimento se dá de fora para dentro dos grãos de cimento, e os cristais, ao se nuclearem, vão estabelecendo pontos de ligação muito fortes entre os agregados presentes na mistura cimentada ou concreto. Além disso, os próprios cristais vão se interpenetrando, aumentando a resistência do material em seu todo. Esse processo progressivamente gera o encastelamento de cristais hidratados (BALBO, 2011).

“O aluminato de cálcio muito contribui para o calor de hidratação, especialmente no início do período de cura. O silicato tricálcico é o segundo

componente em importância no processo de liberação de calor” (BAUER, 2013, p. 239).

O aluminato de cálcio, quando presente em forma cristalina, é o responsável pela rapidez de pega. Com a adição de proporção conveniente de gesso, o tempo de hidratação é controlado. O silicato tricálcico é o segundo componente com responsabilidade pelo tempo de pega do cimento. Outros constituintes se hidratam lentamente não tendo efeito sobre o tempo de pega (BAUER, 2013).

Ocorre também a formação dos silicatos hidratados de cálcio, como se depreende da equação acima, representando por C-S-H (silicatos de cálcio hidratados), compostos de cristais em forma de agulha e responsáveis pela resistência do material cimentado que resultarão, após o ganho de equilíbrio da solução, por remoção da cal, em sílica hidratada. Neste caso, a velocidade das reações é rápida. No entanto, tais compostos também liberam grande quantidade de cal hidratada, que se torna expansiva a longo prazo; o uso de adições como as cinzas volantes (pozolanas artificiais), na moagem dos cimentos, presta-se ao controle da cal hidratada, uma vez que a pozolana apresenta reação cimentante em combinação com esta cal livre. As sílicas ativas fazem papel semelhante ao consumir cal livre, gerando, em qualquer dos casos, um material menos permeável, de elevada durabilidade e menos suscetível a agentes agressivos (BALBO, 2011).

#### 2.1.7 Características e Efeitos do Concreto

As temperaturas mais favoráveis para um desenvolvimento normal da resistência são 18° a 25°C. Temperaturas mais elevadas aceleram o endurecimento; a umidade com calor é particularmente favorável até 90°C. Temperaturas abaixo de 18°C retardam o endurecimento; abaixo de 5°C é necessário adotar medidas contra o perigo de congelamento (LEONHARDT, 2008).

Afirma Leonhardt (2008, p. 11) “O concreto novo deve ter um tratamento posterior, como manutenção do calor e da umidade, proteção contra temperaturas elevadas, vento, frio intenso e chuva forte. ”

As misturas de concreto recém-preparadas enrijecem com o tempo. Esse enrijecimento não deve ser confundido com a pega do cimento, pois resulta da absorção de parte da água pelo agregado, da evaporação de outra parte, sobretudo se o concreto estiver exposto ao sol e ao vento, e, ainda da perda da água utilizada

nas reações químicas de hidratação iniciais. Pelas razões acima, que evidenciam mudanças na consistência, e porque o que nos interessa é a consistência no momento do lançamento, aconselha que sua verificação seja realizada certo tempo após a mistura, a consistência de uma mistura também é afetada pela temperatura ambiente, que modifica a temperatura do próprio concreto. Esse fato determina variações na quantidade de água necessária à mistura, para uma mesma consistência (BAUER, 2013).

A relação água-cimento, bem como o grau de hidratação do concreto também parecem interferir na porosidade do mesmo. Quanto maior a quantidade de água, maior a quantidade de espaços vazios e, portanto, maior a porosidade. Quando o grau de hidratação aumenta, a porosidade do concreto tende a diminuir (FALCETTA, 2002).

A manutenção de calor e umidade atua favoravelmente na resistência à compressão e à tração, impermeabilidade e valor da retração. Um meio adequado para isso é a cobertura com panos ou areia molhados. A irrigação com água fria pode provocar grandes diferenças de temperatura entre o interior e o exterior do concreto e, conseqüentemente, causar fissuras na superfície; trata-se, pois, de um procedimento pouco adequado. Para grandes superfícies são adequadas as “membranas ou películas de revestimento”, que devem ser borrifadas com água, de modo a impedir a perda de umidade. Como exemplo, cita-se a “Antissol”, que é uma emulsão de parafina. Essas películas geralmente não são resistentes ao tráfego e, além disso, é necessária uma proteção do concreto contra a radiação solar; elas devem ser colocadas o mais tardar uma hora após o início da pega (LEONHARDT, 2008).

Concretos plásticos, preparados com agregados satisfatórios, suficiente cimento e correta quantidade de água para permitir determinada consistência, não necessitam de aditivos. Estes, no entanto, são úteis nos concretos pobres e ásperos. Há grandes variedades de aditivos disponíveis que afetam a consistência do concreto, esses compostos são classificados como dispersores, densificadores, retardadores, aceleradores e incorporadores de ar. Quando são utilizados corretamente para superar certas deficiências de um concreto, cumprem muito bem sua função. O uso indiscriminado dos aditivos, porém, pode determinar efeitos mais prejudiciais e benéficos (BAUER, 2013).

Definida como a maior ou menor facilidade que um fluido tem em movimentar-se em um material poroso. Exerce grande importância na durabilidade do concreto. Vários são os fatores que determinam a porosidade do concreto: a relação água/cimento, a composição do cimento, o preparo e lançamento do concreto, o grau de adensamento e a quantidade de ar aprisionado, a dimensão máxima característica dos agregados, a capilaridade (interconexão dos poros), a idade do material, as condições de cura e ensaio (FALCETTA, 2002).

O concreto experimenta alterações de volume com o tempo, devido a influências do meio ambiente, isto é, do clima. A retração é a diminuição de volume devido à evaporação da água não consumida na reação química de pega do concreto. A expansão é o aumento de volume do concreto pela absorção de água em ambientes de alta umidade do ar, ou dentro d'água. Enquanto a retração e a expansão são deformações que independem do carregamento, a deformação lenta e a relaxação são fenômenos que dependem do tempo, e que, ao mesmo tempo, estão relacionados às cargas e às deformações. A deformação lenta é o aumento de uma deformação com o tempo sob a ação de cargas ou de tensões permanentes. A diminuição de uma certa tensão inicial, em um comprimento mantido constante, é denominada relaxação (LEONHARDT, 2008).

Causado especialmente pelo uso de aceleradores de pega (contém cloreto de cálcio) e pela maresia em cidades litorâneas. Os cloretos ligam-se ao aluminato tricálcico e são absorvidos na superfície dos poros, formando íons cloreto livres, provocando pontos de corrosão conhecidos como pites (FALCETTA, 2002).

“A retração ocorre durante a contração da massa do gel, por ocasião da evaporação da água não fixada quimicamente do gel de cimento” (LEONHARDT, 2008, p. 22).

Na deformação lenta de peças de concreto submetidas a tensões permanentes, a água não fixada quimicamente, existente nos microporos do gel de cimento, é comprimida nos capilares e evapora-se provocando uma contração do gel, assim como, na retração, o fenômeno da deformação lenta é influenciado também pelas tensões capilares e especialmente pelo clima. A deformação lenta diminui com o passar do tempo, atingindo, após um longo período, como por exemplo 15 a 20 anos em construções ao ar livre (LEONHARDT, 2008).

“A exsudação é uma forma particular de segregação, em que a água da mistura tende a elevar-se à superfície do concreto recentemente lançado. Esse fato ocorre

pelos constituintes do concreto não fixarem toda a água da mistura” (BAUER, 2013, p. 234).

Conforme Leonhardt (2008, p. 25) a retração é influenciada pelos seguintes fatores:

- A umidade do ar influencia tanto o valor como a duração da retração. É preciso, portanto, levar em consideração diversos valores finais da retração que dependem da umidade relativa do ar. O maior valor da retração ( $\epsilon=60 \cdot 10^{-5}$ ) ocorre em edifícios aquecidos, e principalmente em regiões de clima seco.
- O valor final da retração depende muito da idade e do grau de maturidade do concreto por ocasião do início da secagem. Em ambientes úmidos e após um ano de idade, o valor final da retração pode ser diminuído até 40%. Para os prazos usuais de cura, de 10 a 28 dias, a influência da idade é tão pequena que, na prática, é, via de regra, desprezada.
- A retração de prismas de concreto de seção transversal de 12cmx12cm é terminada após 2 a 4 anos em ambientes com umidade relativa do ar constante. Peças de maior espessura necessitam de tempo mais longo. Para  $d \geq 1m$ , por exemplo, são precisos até 15 anos, devido à secagem mais lenta; as peças espessas atingem um alto grau de maturidade, no seu interior, no início da secagem, e apresentam um menor encurtamento final de retração. A influência da espessura é grande, devendo ser considerada no cálculo da retração.
- O teor e o fator água cimento influenciam o valor da retração: um teor mais elevado de cimento e/ou um fator água-cimento maior aumentam as deformações de retração. Isto é considerado no cálculo através de diversos valores básicos para a retração, para as diversas faixas de consistência de concreto.
- A temperatura do ar ambiente influencia a secagem do concreto e, em consequência, a retração. A observação de obras mostra que a retração no inverno atinge uma paralização. Existem poucos resultados de ensaios a esse respeito; o engenheiro porém tem que levar em consideração estes fatores na prática.

A retração começa sempre nas superfícies externas das peças estruturais, sendo impedida pelas zonas internas. Consequentemente aparecem tensões interna, especialmente em peças espessas. Essas tensões podem produzir fissuras porque os maiores encurtamentos devidos à retração aparecem no lado externo do concreto novo que possui ainda pequena resistência à tração. O começo da retração deve ser prorrogado tanto quanto possível, através da proteção do concreto contra secagem (LEONHARDT, 2008).

As fissuras em elementos de concreto armado, geralmente são causadas por dois motivos: devido as propriedades reológicas do concreto fresco (retração do concreto em seu processo de cura) e devido as tensões causadas pelas solicitações impostas (PORTO, 2015).

“A segregação pode ocorrer também como resultado de vibração exagerada. Um concreto em que isso viesse a acontecer seria, obviamente, um concreto mais fraco sem uniformidade” (BAUER, 2013, p. 234).

Diz Leonhardt (2008, p. 29) sobre os efeitos da retração e da deformação lenta sobre estruturas:

- Aumento das flechas devido a retração e a deformação lenta da zona comprimida;
  - Aumento da curvatura de pilares com cargas excêntricas devido a deformação lenta, o que contribui para que a excentricidade inicial aumente e a capacidade de resistência do pilar diminua;
  - Perdas de protensão, em estruturas de concreto protendido, devidas à retração e à deformação lenta;
  - Redistribuição de tensões, em uma peça estrutural, devido à retração e à deformação lenta nos trechos de ligação rígida com outras peças estruturais;
  - Fissuras nas superfícies externas devidas às tensões de retração;
- Dentre as influências favoráveis citam-se:
- Eliminação das concentrações de tensão através da deformação lenta ou pelo carregamento local do concreto;
  - Eliminação das tensões de coação através da relaxação e da deformação lenta.

“A trabalhabilidade de um concreto, necessita que a mistura esteja estável, não segregue facilmente, pois necessita da segregação para efetuar a compactação” (BAUER, 2013, p. 273).

A segregação é, assim, entendida como a separação dos constituintes da mistura impedindo a obtenção de um concreto com características de uniformidade razoáveis. É na diferença dos tamanhos dos grãos do agregado e na massa específica dos constituintes que se encontram as causas primárias da segregação, mas seu aparecimento pode ser controlado pela escolha conveniente da granulometria e pelo cuidado em todas as operações que culminam com o adensamento. Existem duas formas de segregação, a primeira os grãos maiores do agregado tendem a separar-se dos demais, quer quando se depositam no fundo das fôrmas, quer quando se deslocam mais rapidamente, no caso de concretos transportados em calhas. Na segunda forma de segregação, comum nas misturas muito plásticas, manifesta-se a nítida separação da pasta. Quando são utilizados alguns tipos de granulometria em concretos pobres e secos, a primeira forma de segregação pode ocorrer. A adição de água poderá melhorar a coesão, mas quando a mistura se torna muito úmida, ocorre a segunda forma de segregação (BAUER, 2013).



Devido ao fato do concreto apresentar boa resistência a compressão, mas não a tração, a utilização do concreto simples se mostra muito limitada, necessitando do concreto armado ou protendido (PORTO, 2015).

A granulometria e o teor água/mistura seca ou, indiretamente, o fator água/cimento devem ser considerados em conjunto, quando se procura uma consistência adequada para o concreto. Determinada granulometria pode proporcionar consistência adequada do concreto para um teor de água/mistura seca e o fator/água cimento correspondente, o que pode não ser verificado quando varia um destes últimos fatores. Há foi observado experimentalmente, que, quanto mais alto o fator água/cimento, mais alta deve ser a relação areia/medra na mistura, para maior plasticidade. Por outro lado, para uma determinada consistência, há uma relação areia/pedra que exige o menor teor de água/mistura seca. De um, modo geral, os agregados graúdo e miúdo devem ser uniformemente graduados, sendo aconselhável que não haja predominância de determinada fração sobre a outra, granulometrias descontínuas, em que uma ou mais de uma das frações intermediárias tenham sido eliminadas, devem ser ensaiadas de acordo com as condições de aplicação, antes de serem adotadas. (BAUER, 2013).

Conceitua Bauer (2013, p. 277):

Conscientemente ou não, todos os pesquisadores que procuram descobrir um método para medir a trabalhabilidade do concreto estavam, realmente, tentando medir as propriedades reológicas desse material, particularmente a consistência. De um modo geral, os métodos de medição da consistência podem incluir os seguintes tipos:

- Ensaio de Abatimento;
- Ensaio de penetração;
- Ensaio de escorregamento;
- Ensaio de compactação;
- Ensaio de remoldagem

Temperaturas inferiores a 10°C restringem bastante a liberação de calor na massa, prejudicando a hidratação do cimento. Por outro lado, ventos e calor excessivo, acima de 32°C, causam a evaporação exposta da água da massa fresca, prejudicando a hidratação do concreto. Duas teorias tradicionais são empregadas para elucidar os processos de hidratação do cimento, conforme expostas sumariamente a seguir (BALBO, 2011).

Para obter um bom concreto, o lançamento de uma mistura adequada deve ser seguido pela cura em um ambiente apropriado durante os estágios iniciais de

endurecimento. Cura é a denominação dada os procedimentos adotados para promover a hidratação do cimento e consiste no controle de temperatura e da entrada e saída de água do concreto. De forma mais específica, o objetivo de cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível disso, até que os espaços originalmente preenchidos com água na pasta de cimento fresca tenham sido preenchidos pela quantidade requerida de produtos de hidratação do cimento. No caso de concreto nas obras, a cura quase sempre é interrompida bem antes de a máxima hidratação do cimento (NEVILLE, 2015).

O período de cura necessário na prática não pode ser prescrito de modo simples: os fatores relevantes incluem a severidade das condições de secagem e os requisitos de durabilidade esperados. Como exemplo, os períodos mínimos de cura para condições externas, incluindo gelo e degelo, mas sem a utilização de agentes descongelantes e para exposição a agentes químicos agressivos. As exigências para a retirada das formas são determinadas pela resistência do concreto, que pode ser estimada pela sua maturidade, por ensaios de resistência à compressão em corpos de prova irmãos ou, ainda, por ensaios não destrutivos, a cura deve ser iniciada o mais cedo possível e que ela deve ser contínua. Ocasionalmente, é aplicada uma cura intermitente, e é válido analisar seu efeito. No caso de concretos com baixa relação água/cimento, a cura contínua nas primeiras idades é vital, já que a hidratação parcial torna os capilares descontínuos. Na continuação de cura, a água não é capaz de penetrar no concreto, o que interrompe a hidratação. Entretanto, concretos com elevada relação água/cimento sempre possuem um grande volume de capilares, de forma que a cura pode ser retomada de maneira efetiva a qualquer momento, mas quanto mais cedo melhor (NEVILLE, 2015).

## 2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1 Materiais

Neste estudo são utilizados alguns materiais listados a seguir.

### 2.2.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado foi o CP II-F40, segundo a NBR 11578 (ABNT, 1991) contém  $MgO \leq 6,5\%$ ; Perda ao fogo  $\leq 6,5\%$ ; Resíduo insolúvel  $\leq 2,5\%$ ;  $SO_3 \leq 4\%$ ; sem adição de escória e material pozzolânico; é constituído pela maior parte de filer 6 a 10% e silicatos, em sua produção ainda é adicionado sulfato de cálcio. Este tipo de cimento Portland composto destaca-se pelo maior grau de finura que proporciona maior resistência em todas as idades, indicado para aplicações que exigem desforma rápida.

Optou-se, por esse tipo de cimento, pois o mesmo possui a moagem mais fina do cimento, assim ao reagir com a água o mesmo adquire elevadas resistências iniciais e com maior velocidade.

### 2.2.1.2 Agregado miúdo

A areia natural utilizada, é proveniente da cidade de Porto União-SC, onde a areia fina é retirada de cava, com menos de 5% de argila. Também foi utilizada areia industrial, retirada através da britagem da rocha basáltica, em um britador na cidade de Caçador-SC.

### 2.2.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado, foi proveniente da rocha tipo basáltica coletada em Caçador-SC, sendo utilizado os produtos: brita 1 arredondada e brita 0 arredondada.

### 2.2.1.4 Aditivos

Os aditivos utilizados foram do tipo superplastificantes e aceleradores de pega.

O aditivo superplastificante utilizado é de tipo II, não contém cloretos, composto de policarboxilatos; pH (25°C) 5,00 a 7,00; massa específica 1,080 a 1,120kg/L;

detém propriedades dispersantes, também sendo redutores de água e atribuem as moléculas de cimento uma carga altamente negativa, de modo que elas se repelem, tendo uma melhoria resultante na trabalhabilidade sendo explorada de duas maneiras: pela produção de um concreto com trabalhabilidade muito elevada e um concreto com resistência muito alta.

O aditivo acelerador, utilizado neste trabalho tem como função principal acelerar a resistência inicial do concreto, embora eles também possam, simultaneamente, acelerar a pega do concreto. Foram utilizados dois tipos de aditivo acelerador, sendo o aditivo 01 de natureza química com base em silicatos de sódio, pH: 10-12,00, estado físico líquido, solubilidade em água e o aditivo 02 tem o pH: 9,9 a 25°C, densidade 1,35g/cm<sup>3</sup> e sua natureza química com base em silicatos de cálcio.

#### 2.2.1.5 Água de amassamento

A água utilizada para a elaboração dos traços de concreto foi proveniente do poço artesiano utilizado no Laboratório de Materiais e solos da UNIARP.

### 2.2.2 Métodos

Para cada ensaio de materiais, são utilizados alguns métodos seguidos por normas, descrito abaixo:

#### 2.2.2.1 Caracterização do agregado graúdo

##### a) Análise granulométrica

O ensaio foi realizado segundo a NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003).

O ensaio de granulometria foi realizado com as peneiras: 75mm; 37,5mm; 19mm; 9,5mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 0,6mm; 0,3mm; ,15mm e fundo.

A amostra permaneceu em estufa a temperatura de  $(105\pm 5)$  °C para total secagem, e depois exposta a temperatura ambiente, após remetida para o peneiramento, que aconteceu de modo mecânico e agitação humana, no laboratório da UNIARP.

Após o peneiramento, determinou-se a massa de material retido em cada peneira. Assim, sendo calculado e emitido o gráfico do ensaio.

Sendo que, a brita 1 deve ter tamanhos entre 3/8" a 3/4", e a brita 0 de tamanho 3/16" e 3/8".

#### b) Massa unitária

Determinou-se a massa unitária do agregado graúdo conforme NBR NM 45 (ABNT, 2006) a amostra foi coletada de acordo com a NM 26 (ABNT, 2002). A mesma permaneceu a uma temperatura de  $(105\pm 5)$  °C para total secagem, em um recipiente foi inserido 3 camadas do material, efetuando 25 golpes com a haste de adensamento em cada camada, por fim, foi inserido o material na balança e determinou-se a massa unitária.

#### c) Massa específica, Massa específica aparente e absorção e água

Determinou-se a massa específica do agregado miúdo conforme NBR NM 53 (ABNT, 2002) a amostra foi coletada de acordo com a NM 26 (ABNT, 2002), após colocada em um recipiente constituído de um cesto de arame, imersa em água pesando-a, após esse processo a amostra é colocada em uma superfície plana e secando sua superfície, assim determinando o resultado dos ensaios

#### d) Determinação do teor de material pulverulento

A determinação do teor de material pulverulento no material é seguida conforme a NBR NM 46 (ABNT, 2003). Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75  $\mu\text{m}$ , por lavagem.

A amostra foi seca a uma temperatura constante de  $(110\pm 5)$  °C, determinou-se a massa do material, e adicionamos água no recipiente até cobri-la, agitamos a amostra para obter a separação total de todas as partículas finas, imediatamente

vertemos a água de lavagem na peneira, foi adicionado uma segunda quantidade de água no recipiente e repetimos a operação até que a água ficou límpida, retornou-se todo o material retido nas peneiras, com um fluxo contínuo, assim secando o material a uma temperatura de  $(110\pm 5)$  °C, e foi determinado o material pulverulento.

#### 2.2.2.2 Caracterização do agregado miúdo

##### a) Análise granulométrica

O ensaio foi realizado segundo a NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2001).

Para o ensaio de granulometria dos agregados miúdos, foi utilizado as peneiras 9,5 – 4,7 – 2,36 – 1,18 – 0,59 – 0,30 – 0,15 mm e fundo.

A amostra ficou na estufa a temperatura de  $(105\pm 5)$  °C para total secagem, e depois exposta a temperatura ambiente, após foi remetida para o peneiramento, que aconteceu de modo mecânico no laboratório da UNIARP.

Após o peneiramento, foi determinada a massa de material retido em cada peneira. Assim calculado e emitido o gráfico do ensaio.

##### b) Massa específica e aparente

Foi determinada a massa específica do agregado miúdo conforme NBR NM 52 (ABNT, 2002) a amostra foi coletada de acordo com a NM 26 (ABNT, 2002), após colocada em um recipiente e coberta com água por 24 horas e pesada, deixou-se a amostra secar por 24 horas e golpeada 25 vezes sobre uma forma horizontal, após os golpes levantamos a forma verticalmente e analisou-se a umidade. Pesou-se 500g de amostra colocando-a no frasco e completando-a com água. Calculamos a densidade da amostra após os dois processos.

### 2.2.2.3 Determinação do Tempo de Pega

O ensaio de determinação do tempo de pega, que tem sua referência a NBR NM 65 (ABNT, 2002), contendo em seu procedimento a instalação do aparelho de Vicat, que é verificado em modo manual e a preparação de 500g da pasta de cimento Portland, adicionando aditivos e água. Cronometra-se o tempo de pega a partir da adição da água na pasta de cimento Portland e inicia-se a verificação do início da pega através de sua respectiva agulha instalada no aparelho, se dá o início de pega após a agulha estar a uma distância da placa base de  $(4 \pm 1)$ mm da placa base, assim vira-se o molde e aplica-se a agulha de fim de pega, que é determinado quando a agulha não provoca nenhuma marca no corpo de prova, o tempo deve ser anotado em todas as penetrações das agulhas.

### 2.2.2.4 Estudo de Dosagem do Concreto Auto adensável de Pega Rápida

O concreto auto adensável é um concreto fluído, tendo como objetivo preencher todos os vazios da forma através da sua alta trabalhabilidade. Tem como objetivo retirar todo o ar incorporado, sem vibração ou movimento do concreto.

Para determinarmos o traço do concreto auto adensável, utilizou-se o aditivo que teve melhor desempenho na determinação do tempo de pega, assim utiliza-se o método ACI/ABCP onde teremos o uso de mais finos (menores que 0,6mm) do que o usual, dotando o uso do aditivo superplastificante, e um agente controlador de água, utilizou-se a água/cimento em torno de 0,70; diminuindo em torno de 50% os agregados graúdos que o usual.

### 2.2.2.5 Propriedades do concreto no estado fresco

As propriedades do concreto no estado fresco, foram paralelamente identificados com sua mistura, lançamento e adensamento obtendo-se uma boa trabalhabilidade, o concreto auto adensável foi confeccionado no Laboratório de Materiais e Solos da UNIARP, após a mistura, realizou-se o ensaio de espalhamento – “Slump Flow Test” – umedecendo o cone e a chapa metálica, desta forma

completamos o cone com concreto, após o enchimento, levantou-se o cone e o concreto espalhou na chapa metálica, medindo o diâmetro do espalhamento.

Após o ensaio de abatimento do tronco de cone, foram moldados 3 corpos de prova por idade, para o teste de resistência após sua cura. Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2003) – Concreto auto adensável. Foram moldados corpos de prova de diâmetro 100mm, preenchidos de concreto.

#### 2.2.2.6 Propriedades do concreto no estado endurecido

Decorridos 3, 7 e 28 dias da moldagem dos corpos de prova, após todo o tratamento de cura do concreto, foi rompido os corpos de prova, obtendo a resistência a compressão objetivada.

### 2.3 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

#### 2.3.1 Caracterização do agregado graúdo

##### a) Análise granulométrica

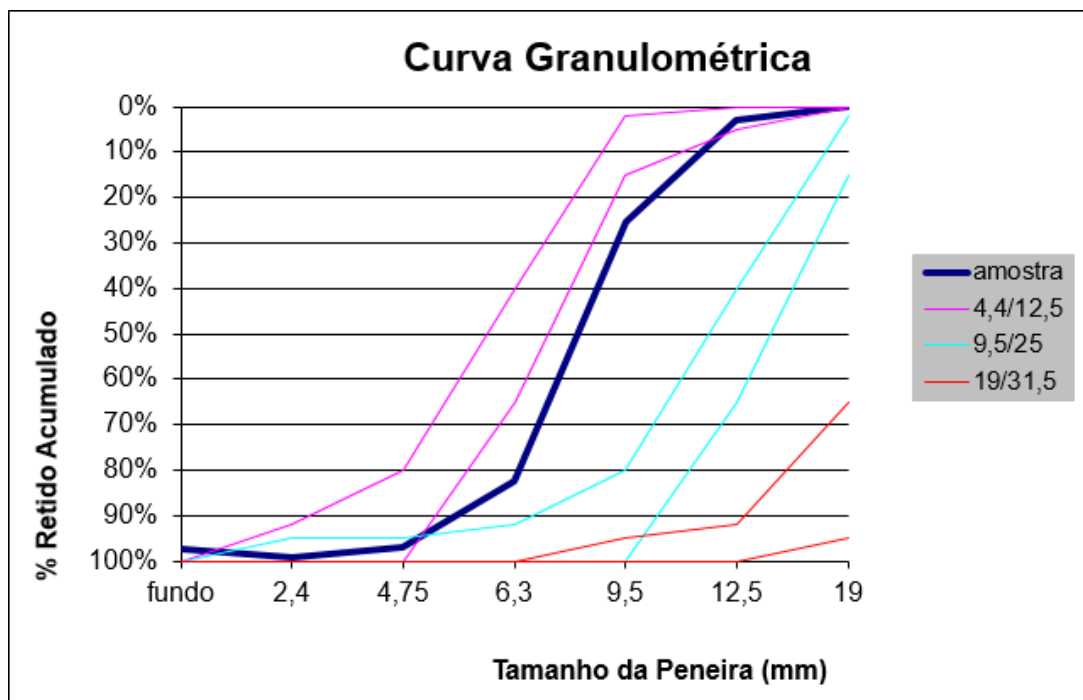
A granulometria foi realizada conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica) além da curva de composição granulométrica são também definidos o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado, segue abaixo as o resultado das composições granulométricas:



Quadro 01 – Granulometria Brita 0

Peneira	1ª determinação		2ª determinação		Média	Acumulado
	Massa Retida	%	Massa Retida	%		
19	0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	52,1	4,9%	12,2	1,2%	3,0%	3,0%
9,5	265,8	25,1%	206,4	19,6%	22,3%	25,4%
6,3	509,1	48,0%	696,0	66,0%	57,0%	82,4%
4,75	183,2	17,3%	122,1	11,6%	14,4%	96,8%
2,4	42,0	4,0%	12,0	1,1%	2,6%	99,4%
Fundo	7,6	0,7%	5,3	0,5%	0,6%	100,0%
<b>Soma</b>	<b>1059,8</b>	<b>100,0%</b>	<b>1054,0</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,00%</b>	

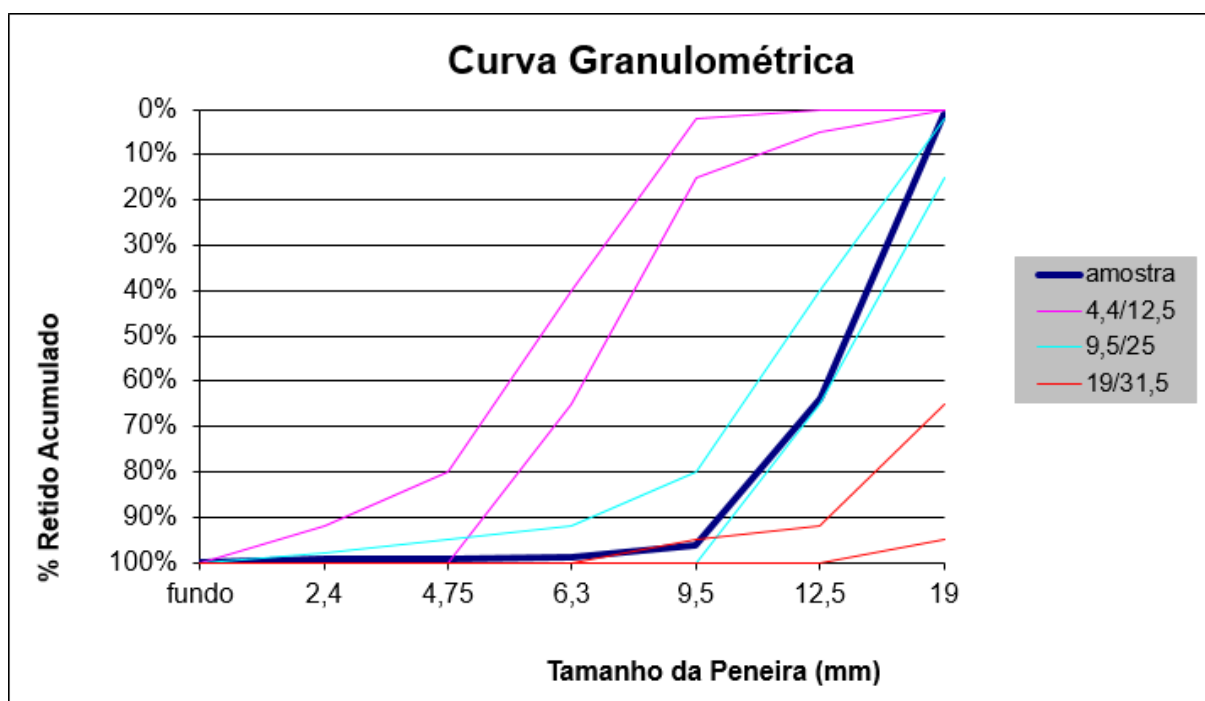
Figura 01 – Gráfico Curva Granulométrica Brita 0



Quadro 02 – Granulometria Brita 1

Peneira	1ª determinação		2ª determinação		Média	Acumulado
	Massa Retida	%	Massa Retida	%		
19	0	0,0%	32,9	2,3%	1,2%	1,2%
12,5	930,6	66,6%	840,0	58,8%	62,7%	63,8%
9,5	407,2	29,1%	505,4	35,4%	32,3%	96,1%
6,3	44,7	3,2%	35,2	2,5%	2,8%	98,9%
4,75	2,5	0,2%	9,7	0,7%	0,4%	99,3%
2,4	0,0	0%	0,0	0%	0%	99,3%
Fundo	13,2	0,9%	5,3	0,4%	0,7%	100,0%
Soma	1398,2	100,0%	1428,5	100,0%	100,00%	

Figura 02 – Gráfico Curva Granulométrica Brita 1



Conforme Recena (2014, p. 79) “O módulo de finura, fornece a finura do material e o aumento desse valor indica que o agregado está mais graúdo, a diminuição do módulo de finura significa que o material ficou mais fino sendo possível um aumento da superfície específica”.

Através dos dados acima citados, determina-se o módulo de finura da brita 1 sendo “8,56” e brita 0 “7,05”.

Afirma Recena (2014, p. 79) “O diâmetro máximo do agregado indica a dimensão do grão que identifica o agregado, fornecendo subsídio para limitação de seu emprego”.

O diâmetro máximo da brita 1 e da brita 0 conforme a composição granulométrica, tem seus valores respectivamente em “19mm” e “12,5mm”

A granulometria nos dá a proporção dos grãos de diferentes tamanhos utilizados no traço de concreto, assim pode-se constatar através dos resultados obtidos, as dimensões dos agregados graúdos utilizado neste trabalho, sendo pertinentes o seu uso no concreto auto adensável.

#### b) Caracterização da brita 0 e brita 1

O resultado dos ensaios abaixo, foram realizados conforme a NBR NM 53 (ABNT, 2002) e NBR NM 45 (ABNT, 2002).

Quadro 03 – Caracterização da brita 0 e brita 1

<b>Material</b>	<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Específica Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Absorção de Água (%)</b>	<b>Massa unitária (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Brita 1	2,5092	2,5804	1,0999	1,5943
Brita 0	2,6700	2,7766	1,4376	1,5976

A massa unitária tem grande importância no concreto, pois é por meio dela que podemos transformar as composições do concreto em peso e volume, incluindo os vazios. A massa específica tem-se a diferenciação do agregado normal, leve ou pesado, excluindo os vazios, assim influenciando o tipo de aplicação do concreto. Massa específica aparente é a massa do agregado seco e seu volume, Absorção de água é o aumento da massa do agregado com seus poros permeáveis por água.

Através dos resultados obtidos pelos ensaios realizados, podemos calcular consumo de cimento no traço do concreto objetivado nesse trabalho.

#### c) Determinação do teor de material pulverulento

A determinação do material pulverulento teve seus resultados obtidos através da NBR NM 46 (ABNT, 2003), conforme apresentado abaixo:

Quadro 04 – Determinação de Material Pulverulento

<b>Material</b>	<b>Porcentagem de material mais fino que a peneira de 75µm por lavagem (%)</b>
Brita 1	0,19
Brita 0	0,24

Através do método de lavagem, constatou-se a porcentagem de material fino, sendo que esse material fino pode incluir argila ou material solúvel em água que são removidos com o ensaio.

Podemos constatar uma pequena quantidade de material pulverulento no agregado graúdo, abaixo do limite máximo da normativa, que é 1%, portanto tendo um baixo índice de material fino nos agregados.

### 2.3.2 Caracterização do Agregado Miúdo

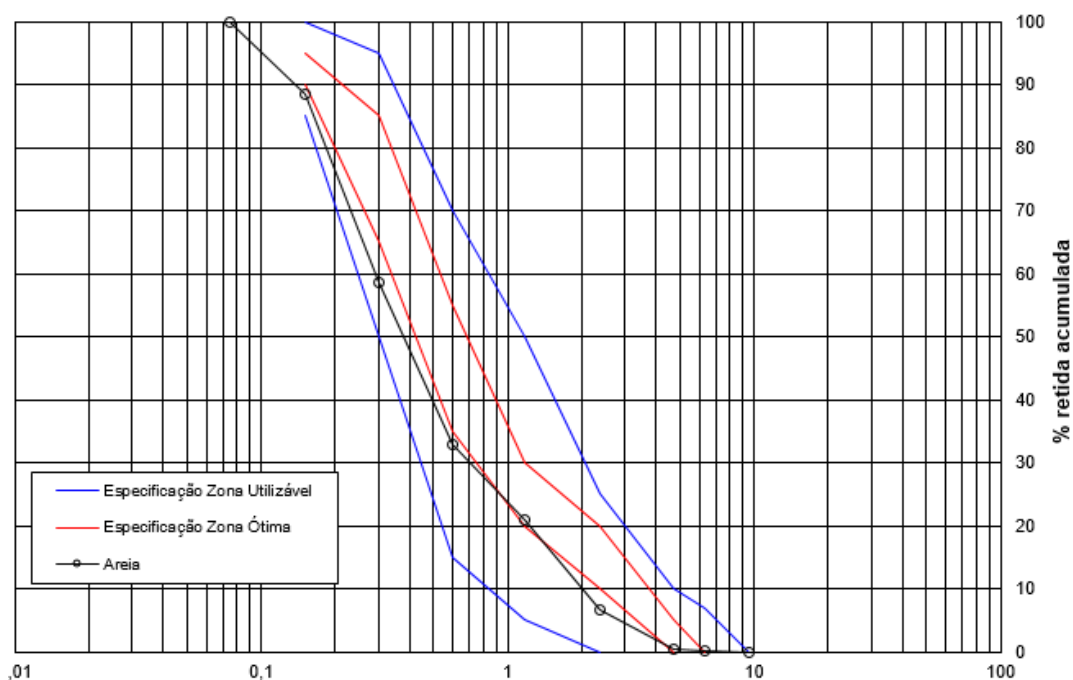
#### a) Análise granulométrica

A granulometria foi realizada conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica) além da curva de composição granulométrica são também definidos o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado, segue abaixo as o resultado das composições granulométricas:

Quadro 05 – Granulometria Areia Natural

<b>Peneira</b>	<b>1ª Determinação</b>		<b>2ª Determinação</b>		<b>Média</b>	<b>Acumulado</b>
	<b>Massa Retida</b>	<b>%</b>	<b>Massa Retida</b>	<b>%</b>		
<b>6,3</b>	0,5	0,1%	0,0	0,0%	0,1%	0,1%
<b>4,8</b>	2,1	0,5%	0,9	0,2%	0,3%	0,3%
<b>2,4</b>	26,2	5,8%	30,2	6,6%	6,2%	6,5%
<b>1,2</b>	81,3	17,9%	46,5	10,2%	14,0%	20,5%
<b>0,6</b>	68	14,9%	40,2	8,8%	11,9%	32,4%
<b>0,3</b>	111,3	24,5%	120,3	26,3%	25,4%	57,8%
<b>0,15</b>	116,6	25,6%	152,0	33,3%	29,4%	87,2%
<b>0,075</b>	43,2	9,5%	62,0	13,6%	11,5%	98,8%
<b>Fundo</b>	6,0	1,3%	4,6	1,0%	1,2%	100,0%
<b>Soma</b>	455,2	100%	456,7	100,00%	99,95%	

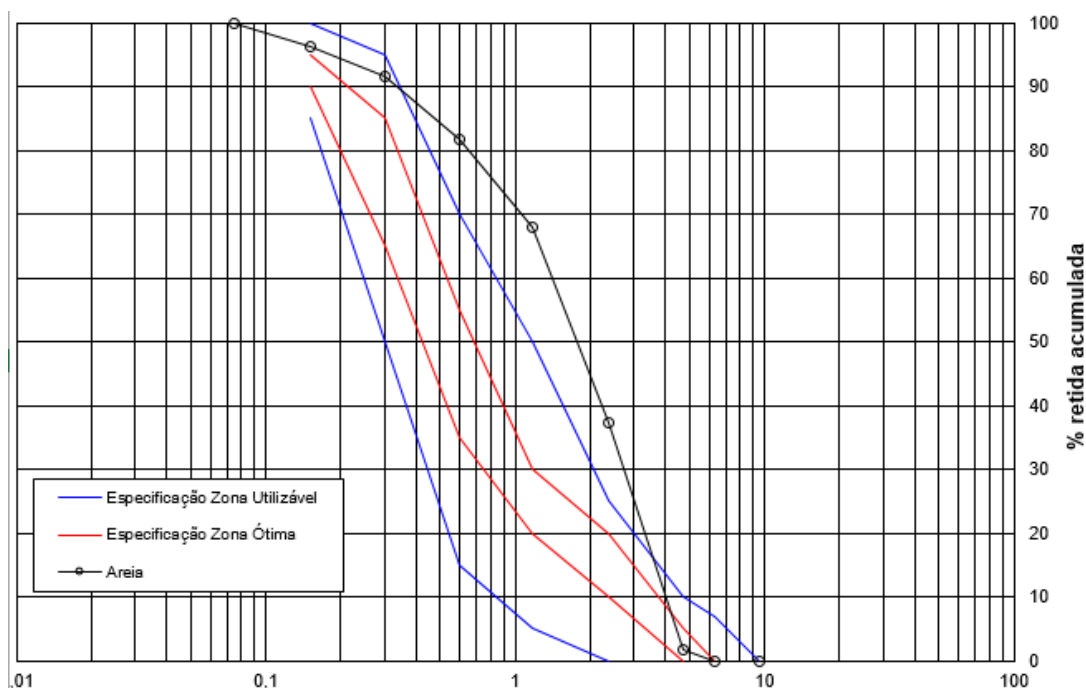
Figura 03 – Gráfico Curva Granulométrica Areia Natural



Quadro 06 – Granulometria Areia Industrial

Peneira	1ª Determinação		2ª determinação		Média	Acumulado
	Massa Retida	%	Massa Retida	%		
<b>6,3</b>	0	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
<b>4,8</b>	12,8	2,0%	6,0	1,0%	1,5%	1,5%
<b>2,4</b>	206,7	33,1%	195,6	32,0%	32,6%	34,1%
<b>1,2</b>	168,5	27,0%	176,8	28,9%	28,0%	62,0%
<b>0,6</b>	84,2	13,5%	70,2	11,5%	12,5%	74,5%
<b>0,3</b>	50,1	8,0%	61,2	10,0%	9,0%	83,5%
<b>0,15</b>	31	5,0%	22,6	3,7%	4,3%	87,9%
<b>0,075</b>	23,6	3,8%	18,4	3,0%	3,4%	91,2%
<b>Fundo</b>	48,0	7,7%	60,0	9,8%	8,8%	100,0%
<b>Soma</b>	624,9	100%	610,8	100,00%	100,00%	

Figura 04 – Gráfico Curva Granulométrica Areia Industrial



Segundo Neville (2015, p.776) “A granulometria do agregado miúdo é um fator preponderante para a trabalhabilidade do concreto, uma “boa” granulometria é tem resultado constante, sob risco de obtenção de resultáveis variáveis de trabalhabilidade”

Observando a figura 03, percebe-se um constante aumento na granulometria da areia natural conforme a variação das peneiras, ao contrário da figura 02 que se constata um alto índice de finos na areia industrial, obtendo-se uma maior variação a partir da peneira 1,2mm.

O módulo de finura da areia natural corresponde a 2,05 e seu diâmetro máximo é 4,8mm; O módulo de finura da areia industrial corresponde a 4,35 e o diâmetro máximo é 4,8mm

#### b) Massa específica e aparente

O ensaio foi realizado conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2002), a representar pelos resultados abaixo:

Quadro 07 – Massa Específica e Aparente

	<b>Massa específica aparente do agregado seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Areia Natural	2,4480	2,4617	2,4822
Areia Industrial	2,6943	2,7819	2,9556

Através da massa específica determina-se o consumo de cimento no traço objetivado do concreto, através da massa específica do agregado saturado superfície seca pode-se concluir o valor de absorção de água no concreto em questão. Com estes resultados, calcula-se o traço de modo a converter os mesmos em Kg/m<sup>3</sup>.

c) Determinação do teor de material pulverulento

Ensaio realizado conforme a NBR NM 46 (ABNT, 2003) conforme o resultado abaixo:

Quadro 08 – Determinação do Teor de Material Pulverulento

<b>Determinação do teor de material pulverulento</b>	
Areia Industrial	10,40%

O Concreto Auto-Adensável (CAA) necessita de uma alta quantidade de finos em sua composição para atender suas propriedades no estado fresco. A moderada viscosidade e coesão que deverá existir na pasta e argamassa para evitar a segregação dos agregados e para diminuir o atrito entre o agregado graúdo justificam a alta dosagem de finos do CAA (LISBÔA, 2004).

A alta fluidez é alcançada com o uso de aditivos superplastificantes de última geração e a coesão entre suas partículas é conseguida com a substituição de parte do cimento ou agregado miúdo por materiais finos ou adições minerais, pozolânicos ou não (LISBÔA, 2004).

Podemos perceber o alto índice de material pulverulento (passante na peneira 0,075mm) no material que foi ensaiado, diagnosticamos um bom nível de finos para a sua utilização no concreto auto adensável em estudo.

### 2.3.3 Escolha do Aditivo Através do Ensaio de Vicat

Através do ensaio de Vicat, realizado conforme a NBR NM 65 (ABNT, 2002), podemos comparar dois aditivos aceleradores de pega na pasta de cimento utilizada no traço do concreto em estudo.

Quadro 09 – Determinação do Tempo de Pega

	Tempo de Início de pega	Tempo de Fim de Pega
Aditivo 01	20-25min	35-40min
Aditivo 02	30-35min	65-70min

O aditivo 01 tem sua natureza química em silicatos de sódio, é um álcali, o aditivo 02 com sua natureza química baseada em silicatos de cálcio, que também é um alcáli, os dois aditivos adotados não contém cloretos, portanto não prejudicam a armadura nem as formas metálicas, sua função é aumentar o calor de hidratação da reação do cimento, estimando um tempo de pega menor, após realizado o ensaio de Vicat, constatou-se conforme o Quadro 10, que o aditivo 01 com um tempo de início e fim de pega mais rápido que o aditivo 02.

Com base nos resultados obtidos a partir do ensaio de Vicat, determinou-se o aditivo 01 como aditivo acelerador de pega para a determinação do traço no concreto auto adensável de pega rápida.

### 2.3.4 Estudo de Dosagem do Concreto Auto adensável de Pega Rápida

Determinamos os traços do concreto auto adensável, utilizando o método ACI/ABCP, mas também de modo empírico, onde a dosagem do concreto pode ser reajustada em seu estado fresco. Através das características dos materiais determina-



se o consumo e a relação água cimento do traço, assim determina-se a trabalhabilidade objetivada juntamente com a resistência mecânica a ser alcançada.

No concreto objetivado neste trabalho, necessita-se do uso de mais finos (menores que 0,6mm) do que o usual, diminuindo o agregado graúdo aproximadamente 50% comparando com o concreto convencional, adota-se o uso do aditivo superplastificante, utilizando a relação água/cimento aproximada de 0,70.

Quadro 10 – Determinação do Traço do Concreto Auto adensável

Grupo dos materiais	Aglomerantes		Agregados miúdos		Agregados graúdos		Líquidos		
Materiais componentes	Cimento	Filer	Ar Fina	Ar Ind	Brita 0	Brita 1	Aditivo1	Aditivo2	Água
Umidade dos materiais (%)	****	0	0,0	0,0	0,0	0,0	****	****	****
Massa dos materiais por cúbico de concreto m <sup>3</sup>	350	145	480	510	370	370	5,3	0,0	192
Laboratório-Dosagem experimental = 0,020 m <sup>3</sup>	7,00	2,90	9,60	10,20	7,40	7,40	0,105	0,16	4,8
Relação de volume para um metro cúbico de concreto =	1000								
Porcentagem de argamassa	66,1								
Abatimento do concreto desejado (mm)	600								
Abatimento do concreto obtido (mm)	620								

Através do método ACI/ABCP obtém-se dois métodos de cálculo que juntos adaptam a redução na retração do concreto em estudo. O traço demonstrado no Quadro 10 teve seu cimento definido de acordo com as características dos agregados utilizados, retido 30% de cimento e adicionado filer. Observa-se um grande número de finos na confecção do concreto estudado, utilizado aditivo superplastificante com cálculo de 1,5% da quantidade de cimento e aditivo acelerador de pega, conforme quadro 09 – aditivo 01 que teve melhor desempenho no ensaio de Vicar, e tem a dosagem realizada com 1/3 partes de água.

O concreto em questão teve sucesso em sua fase fresca, com o ensaio de espalhamento.

### 2.3.5 Propriedades do Concreto no Estado Fresco

O ensaio de espalhamento “Slump Flow Test” foi realizado de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2003).

Após o ensaio de espalhamento “Slump Slow Test” constatou-se o diâmetro de 620mm, obtendo assim classe SF1 550 - 650mm uma trabalhabilidade necessária para o concreto em estudo.

Figura 05 – Ensaio “Slump Flow Test”



### 2.3.6 Propriedades do concreto no estado endurecido

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com NBR 15823 (ABNT, 2003). O rompimento dos corpos de prova foi realizado conforme NBR 5739 (ABNT, 2007), ocorreu após a cura do concreto nas determinadas idades, ou seja, 3, 7 e 28 dias, obtendo os resultados:

Quadro 11 – Ensaio de Compressão

<b>MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA</b>			
IDADE (dias)	3	7	28
MÉDIA (MPa)	7,815	19,405	25,215

Figura 06 – Gráfico do Ensaio de Compressão

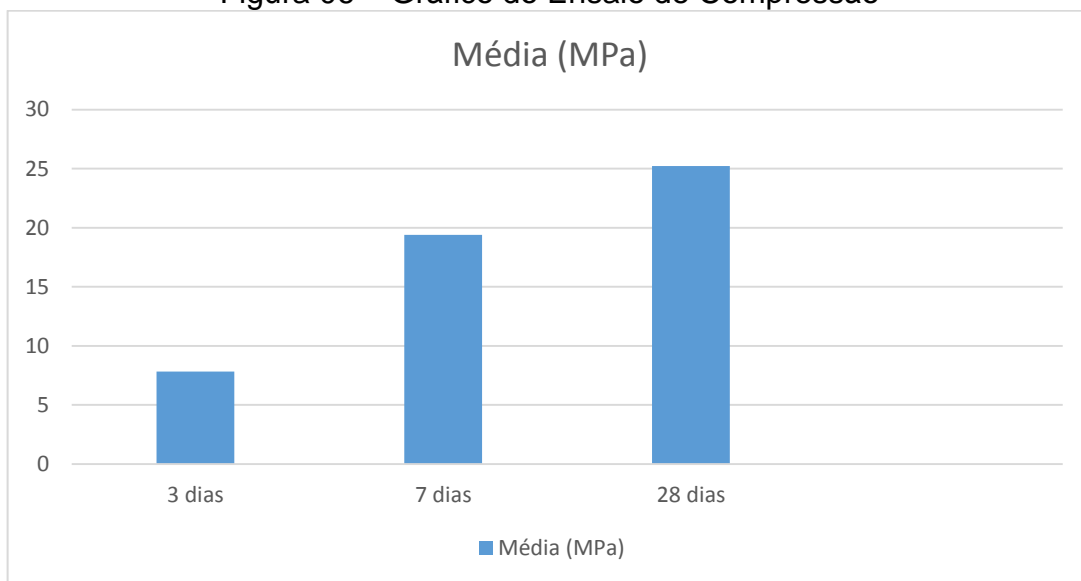


Figura 07 – Ensaio de Compressão



A resistência a compressão realizada nos corpos de prova, será avaliada para futura aplicação na impressora 3D.

### 3 CONCLUSÃO

A mão de obra especializada na construção civil é cada vez mais escassa, sendo assim, o custo da obra aumenta paralelamente. Utilizando o concreto auto adensável de pega rápida, que é de maior facilidade sua aplicação na concretagem, reduz-se a mão de obra para a execução desta etapa, e também se elimina o vibrador na concretagem, que ocasiona problemas de saúde e ergonomia no trabalho, assim diminui-se o tempo de execução da obra. Todas as vantagens do concreto auto adensável foram estudadas a partir das bibliografias disponíveis sobre o assunto.

Através de ensaios realizados em laboratório, foram caracterizados os materiais utilizados neste trabalho. Os resultados destes, confirmaram que os materiais estudados em normas e bibliografias, são condizentes com a utilização na prática, ou seja, benéficos para o traço em questão.

O ensaio de Vicat determinou o aditivo acelerador de pega que foi utilizado na elaboração do traço do concreto auto adensável de pega rápida. A partir do ensaio se obteve além da escolha do aditivo, uma importante informação para o trabalho, que é o tempo de início e fim da pega do concreto em estudo.

Através das propriedades dos materiais ensaiados no laboratório de solos da UNIARP foi calculado o traço do concreto, com um alto índice de finos e aditivos necessários para se obter a massa idealizada para o projeto.

Com o aditivo acelerador de pega em conjunto com o superplastificante, se obteve uma alta fluidez no concreto, desempenhando uma boa trabalhabilidade para o concreto auto adensável, descoberta através do teste de espalhamento “Slump Flow Test”.

A resistência mecânica é imprescindível para a qualificação de um concreto. Esta característica se dá através de vários fatores, que foram levados em consideração na elaboração do traço. Segundo o teste de compressão, o concreto atingiu uma resistência normatizada pelo traço proposto. O concreto além de ter boas características físicas, também atingiu boas características mecânicas.

O concreto auto adensável de pega rápida, pode ser utilizado em várias áreas da construção civil, e também é um ponto de partida para o projeto das engenharias da UNIARP, na construção da impressora 3D. Os atributos dele conseguiram ser estudados e atingidos, podendo então este trabalho ter continuidade, na utilização acadêmica ou de cunho profissional.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, Edward; **Fundamentos da Engenharia de Edificações**. Porto Alegre: BOOKMAN, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia de Utilização do Cimento Portland**. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: Concreto auto adensável. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 1985.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregado – Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregados – Teor de material fino que passa através da peneira 75 $\mu$ m, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

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

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

BALBO, José Tadeu; **Pavimentação Asfáltica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

BAUD, Gérard; **Manual de Pequenas Construções**. Curitiba: Hemus, 2002.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão; **Materiais de Construção**.5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

BERTOLINI, Luca; **Materiais de Construção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

FALCETTA, Filipe A. M.; **Estudo de dosagem pelo método ABCP**, São Paulo: PHC, 2002.

GIL, Antonio Carlos; **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

LEODNHARDT, Fritz; **Construções de Concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

LISBÔA, Edvaldo M. **OBTENÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL UTILIZANDO RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DO MÁRMORE E GRANITO E ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas.

MELO, Melquisedec A. R. J. A.: **Concreto Auto adensável com Finos de Marmoraria**. Belém: UFPA, 2006.

NEVILLE, Adam; **Propriedades do Concreto**.2.ed. São Paulo: Bookman, 2015.

PETRUCCI, Eládio J.: **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Globo, 1975.

PEURIFOY, Robert L.: **Planejamento, Equipamento e Métodos Para a Construção Civil**. Rio de Janeiro: AMGH, 2015.

PORTO, Thiago B.: **Concreto Armado**. São Paulo, Oficina de Textos, 2015.

RECENA, Fernando A. P.; **Retração do Concreto**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014.

RIBEIRO, Carmen C.: **Materiais de Construção Civil**. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

SENAI: **Mestre de Obras**. São Paulo: SENAI-SP, 2013.