



DEJALMA FRASSON JUNIOR
FERNANDO AUGUSTO BETAZZA
THATYANNE SANTANA DA COSTA RIBEIRO

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CURA QUÍMICA NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

FLORIANÓPOLIS
2018

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto IDD pela realização deste curso, com professores de elevado conhecimento técnico, contribuindo ainda mais com a nossa formação.

Ao Prof. Denis Fernandes Weidmann, M.sc., pela valorosa colaboração em todas as etapas do trabalho.

Aos coordenadores do curso que não mediram esforços para nos proporcionar condições adequadas para as aulas e incrementos de conteúdos solicitados.

A Grace Brasil pela doação dos agentes de cura utilizados.

A Votorantin Cimentos, em especial ao engenheiro Allan Silva Medeiros, pela doação dos materiais e pela disponibilização de suas instalações para a realização dos ensaios.

Aos nossos colegas da turma de Tecnologia do Concreto 2016/2017 pela troca de experiências e informações nestes dois anos de caminhada.

Aos nossos familiares que souberam compreender os momentos que nos ausentamos.

RESUMO

A aplicação de agente de cura química é um método de cura aplicado no concreto formando uma membrana impermeável que coíbi a evaporação da água que foi dosada na mistura. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da cura química no ganho de resistência à compressão, pois ao impedir a entrada e saída da água no concreto em processo de cura, pode comprometer a hidratação dos grãos de cimento. Utilizando concretos classes C25, C30 e C35 foram realizados ensaios de resistência à compressão, conforme a NBR 5739:2007, utilizando corpos de prova padrão, corpos de prova encamisados em tubo de PVC e testemunhos extraídos submetidos a quatro condições de cura – cura em água, cura ao ar, cura química base parafina (PA) e cura química base poliacetato de vinila (PVA). Analisando os testemunhos extraídos foi possível comprovar maior eficiência no ganho de resistência à compressão no concreto classe C25, quando aplicado agente de cura química base PVA em relação aos testemunhos curados em água. Já no concreto classe C30, os testemunhos curados em água tiveram um maior ganho de resistência à compressão em relação a aplicação do agente de cura química base PVA, evidenciando que em concretos com mesma relação água/cimento podemos obter diferentes comportamento em relação ao desempenho do procedimento de cura. Relativo ao tipo de adensamento, foi observado possível ineficiência do adensamento realizado em mesa vibratória pela presença de bolhas de ar e imperfeições nos corpos de prova encamisados e testemunhos extraídos, com maior evidência, no concreto confinado em tubo de PVC. Sobre o efeito do broqueamento, quando da extração de testemunhos de estruturas de concreto, os corpos de prova encamisados obtiveram resultados de resistência à compressão simples inferiores aos dos testemunhos extraídos, o que leva o efeito do broqueamento a uma condição de menor influência nos resultados em relação a condição de adensamento dos exemplares.

Palavras chave: adensamento, cura química, resistência à compressão do concreto, corpos de prova, testemunhos, broqueamento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Conceito que abrangente de trabalhabilidade envolvendo todas as etapas (ROMANO et al. (2011).....	19
Figura 2.Comportamento tensão-deformação do concreto e seus materiais constituintes (ANDRADE E TUTIKIAN; 2011)	21
Figura 3. Esquema de fabricação do cimento Portland (BATTAGIN, 2011).....	25
Figura 4 - Croqui das caixas utilizadas como formas para extração de testemunhos e corpos de prova encamisados em PVC.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais compostos do cimento Portland (NEVILLE & BROOKS, 2013).....	26
Tabela 2. Características dos principais componentes do clínquer (PECCHIO, 2017)	26
Tabela 3. Tempo mínimo de cura do concreto conforme a relação a/c (CAMARINI, 1995)	35
Tabela 4 - Resumos das relações tomando-se como base corpos de prova curados úmidos (Vieira, 2007)	39
Tabela 5 - Resumos das relações tomando-se como base corpos de prova curados ao ar (Vieira, 2007)	39
Tabela 6 – Valores de K_1 (FONTE: NBR 7680-1:2015)	41
Tabela 7 - Valores de K_2 (FONTE: NBR 7680-1:2015)	42
Tabela 8 – Traços dos concretos fornecidos	44
Tabela 9 - Caracterização agregado miúdo – areia natural	85
Tabela 10 - Caracterização agregado miúdo – areia artificial	85
Tabela 11 - Caracterização do agregado graúdo – Brita 12,50	45
Tabela 12 - Caracterização do agregado graúdo – Brita 25	87
Tabela 13 - Abatimento/temperatura do concreto	48
Tabela 14 - Resistência à compressão - C25	59
Tabela 15 - Resistência à compressão – C30	60
Tabela 16 - Resistência à compressão – C35	60
Tabela 17 - Resultados de ensaio C25 – Tipos de cura em corpos de prova padrão	62
Tabela 18 - Resultados de ensaio C25 – Cura em testemunhos extraídos	63
Tabela 19 - Resultados de ensaio C25 – Cura em corpos de prova encamisados em tubo PVC	63

Tabela 20 - Resultados de ensaio C30 – Tipos de cura em corpos de prova padrão	65
Tabela 21- Resultados de ensaio C30 – Cura em testemunhos extraídos.....	65
Tabela 22 - Resultados de ensaio C30 – Cura em corpos de prova encamisados em tubo PVC	66

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	11
FOLHA DE APROVAÇÃO	13
RESUMO	14
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	15
LISTA DE TABELAS.....	16
SUMÁRIO.....	18
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. Objetivo Geral	13
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. HIPÓTESE	13
1.4. JUSTIFICATIVAS	13
1.4.1. Tecnológicas.....	13
1.4.2. Econômicas	14
1.4.3. Sociais	14
1.4.4. Ecológicas	14
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. CONCRETO	17
2.1.1. Propriedades do concreto fresco	18
2.1.2. Propriedades do concreto endurecido	20
2.2. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	25
2.2.1. Cimento Portland.....	25
2.2.2. Agregados.....	28
2.2.3. Água de amassamento	29
2.2.4. Aditivos	31

2.3. ENSAIOS LABORATORIAIS.....	31
2.3.1. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	32
2.3.2. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto	32
2.3.3. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	33
2.4. ADENSAMENTO DO CONCRETO	33
2.5. A CURA DO CONCRETO	34
2.5.1. Processos de cura	36
2.6. RELAÇÃO DE RESISTÊNCIA ENTRE CORPOS DE PROVA PADRÃO/TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS	38
2.6.1. Relação h/d (k_1)	41
2.6.2. Efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho (k_2)	41
2.6.3. Direção da extração em relação ao lançamento do concreto (k_3)	42
2.6.4. Efeito da umidade no testemunho (k_4)	42
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	43
3.1. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS	44
3.1.1. Concreto	44
3.1.2. Agentes de cura	45
3.1.3. Caixas de madeira	45
3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	46
3.2.1. Confecções das caixas de madeiras.....	46
3.2.2. Procedimentos de concretagem.....	47
3.2.3. Procedimentos de cura	51
3.2.4. Procedimentos de extração dos testemunhos e corpos de prova encamisados	55
3.2.5. Preparação e rompimento dos corpos de prova.....	57

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
4.1. Apresentação dos resultados	59
4.2. Análise dos resultados.....	60
4.2.1. Análise quanto ao tipo de cura	60
4.2.2. Análise comparativa entre as classes de concreto, para um mesmo procedimento de cura e diferentes formas de obtenção	66
4.2.3. Análise quanto ao procedimento de adensamento	71
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
7. ANEXOS	81
7.1. REGISTROS DE TEMPERATURA NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS/SC, DURANTE O PROCESSO DE CURA DOS EXEMPLARES	82
7.2. REGISTRO DE UMIDADE NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS/SC, DURANTE O PROCESSO DE CURA DOS EXEMPLARES	82
8. APÊNDICES.....	83
8.1. CARACTERIZAÇÕES DOS AGREGADOS MIÚDO	84
8.2. CARACTERIZAÇÕES DOS AGREGADOS GRAÚDO.....	85

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Souza e Ripper (1998) e Neville e Brooks (2013), para obter-se uma estrutura de qualidade, o lançamento do concreto deverá ser seguido por um processo de cura durante os primeiros estágios de endurecimento. Esse processo se caracteriza por uma série de procedimentos que visam impedir a evaporação da água necessária à hidratação do cimento e, por conseguinte, ao incremento de resistência do material.

Para Aïtcin (2000) e Neville e Brooks (2013), a inobservância desses procedimentos afeta não apenas a resistência, mas também a durabilidade do concreto, com efeitos negativos relacionados à permeabilidade, à resistência à abrasão, à estabilidade volumétrica, à resistência ao congelamento/degelo e à resistência aos agentes agressivos. A perda de água, agravada pelo processo de cura inadequado, ocorre principalmente na camada mais superficial do concreto, responsável pela proteção das armaduras contra ataques químicos.

Para Peinado (2013), vários tipos de compostos líquidos formadores de membranas podem ser aplicados sobre a superfície do concreto para reduzir ou retardar a perda de umidade, sendo sua aplicação recomendada para a maioria dos casos. O método que faz uso desses compostos formadores de membrana é conhecido como cura química e sua eficácia depende da qualidade dos produtos utilizados, do tempo transcorrido até o início da aplicação e da uniformidade da aplicação do produto na superfície.

A cura química reduz ou impede o processo de evaporação da água dosada na mistura do concreto inibindo o surgimento de manifestações patológicas ocasionadas por fissuras de retração nas estruturas. Impede também a entrada e saída da água que pode estar em excesso ou em falta na mistura, podendo comprometer o ganho de resistência à compressão.

A partir do exposto acima, este trabalho consiste em verificar a influência da cura química no ganho de resistência à compressão do concreto.

Para isto optou-se por realizar os experimentos utilizando três classes de concreto, que foram disponibilizadas por um fornecedor de concreto usinado. Para cada classe de concreto, foram produzidos corpos de prova cilíndricos moldados (padrão) conforme a NBR 5738:2015, testemunhos extraídos conforme a NBR 7680-1:2015 e corpos de prova encamisados moldados em segmento de tubo de PVC de 100 mm, sendo os dois últimos obtidos de placas de concreto. Os exemplares produzidos foram submetidos aos seguintes métodos de cura: aplicação de agente de cura química base poliacetato de vinila (PVA), aplicação de agente de cura química base parafina (PA), cura em água e cura ao ar. Todos os exemplares foram submetidos a ensaios de resistência à compressão para verificação da influência da aplicação dos agentes de cura química, descritos acima, no ganho de resistência à compressão do concreto através do método de pesquisa do tipo “Programa Experimental”.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A aplicação de agente de cura química influencia na resistência à compressão do concreto?

1.2. OBJETIVOS

Aqui serão mencionados os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

1.2.1. Objetivo Geral

Verificar a influência da cura química na resistência à compressão do concreto a partir de exemplares obtidos por diferentes métodos de adensamento, moldagem e extração.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Verificar o efeito do broqueamento nos testemunhos extraídos em placas teste;
- b) Verificar o efeito do adensamento na resistência à compressão do concreto.

1.3. HIPÓTESE

Supõe-se que a cura química impede a entrada e a saída da água do concreto e que pode prejudicar o ganho de resistência à compressão quando a água do traço não é suficiente ou está em excesso, para a continuidade do processo de cristalização do cimento.

1.4. JUSTIFICATIVAS

1.4.1. Tecnológicas

O uso de cura química garante o controle do processo e a diminuição da probabilidade de surgimento de manifestações patológicas em estruturas de

concreto causadas por fissuras de retração. Por ser um produto industrializado incentiva o desenvolvimento tecnológico e a melhoria dos processos na construção civil.

1.4.2. Econômicas

A durabilidade da estrutura de concreto impacta diretamente nos custos com manutenção e na vida útil de uma obra.

A diminuição do uso de água, que devido a sua escassez, pode se tornar um item com relevância na composição de custos nas obras.

1.4.3. Sociais

Evitar a degradação precoce do concreto significa em qualidade de obras que influenciam diretamente na qualidade de vida das pessoas que nelas habitam.

1.4.4. Ecológicas

Todo método que diminua a quantidade de água empregada no processo de cura proporciona o uso racional deste recurso natural que deve ser disponibilizado de maneira mais adequada para o consumo humano e da natureza.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para verificar a influência do procedimento de cura na resistência à compressão do concreto, foram avaliadas quatro condições de cura – cura em água, cura ao ar, cura química base parafina (PA) e cura química base poliacetato de vinila (PVA), aplicadas sobre corpos de prova de concreto padrão, testemunhos extraídos e encamisados, em três classes distintas de concreto de uma mesma família.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os assuntos pertinentes e correlatos, buscando subsídios e fundamentos para o desenvolvimento do presente trabalho.

Na sequência foram realizadas as tratativas técnicas junto às concreteiras da região e verificadas as condições de fornecimento do concreto usinado utilizado no estudo. Buscou-se utilizar três classes de concreto de mesma família, em semelhantes intervalos de resistência.

Posteriormente foram confeccionadas caixas de madeira onde os concretos foram acondicionados e curados para extração de testemunhos e obtenção de corpos de prova encamisados em tubos de PVC.

Simultaneamente foram verificadas as instalações laboratoriais e equipamentos pertinentes para a realização dos ensaios propostos – caracterização dos agregados, abatimento do tronco de cone (Slump Test), moldagem dos corpos de prova de concreto, aplicação e vibração do concreto nas caixas de madeira, aplicação dos procedimentos de cura, extração dos testemunhos e ruptura à compressão dos exemplares aos 28 dias de idade.

A próxima etapa constituiu na moldagem de 4 placas de (570x570x210)mm e 8 corpos de prova cilíndricos (100x200)mm para cada classe de concreto estudada. As placas foram vibradas em um agitador para peneiras quadradas (agregados) e a moldagem dos corpos de prova obedeceram as recomendações da NBR 5738:2015.

O material permaneceu no local da moldagem até a idade de controle (28dd). As 12 placas moldadas e 18 corpos de prova permaneceram em local coberto, livre de intempéries, sob as condições de cura descritas anteriormente, e 6 corpos de prova permaneceram em tanque de imersão com temperatura igual a 23 ± 2 °C. As datas das moldagens foram estabelecidas pelo fornecedor do concreto, de acordo com a demanda interna.

Após a realização das etapas citadas, foi feito um estudo dos resultados obtidos para as considerações finais.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como a hipótese, as justificativas e os procedimentos metodológicos para a realização deste estudo.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica conceituando as propriedades do concreto, os materiais que o constituem, fator água-cimento e os ensaios laboratoriais que foram realizados. Descreve o processo de adensamento e cura do concreto bem como a relação de resistência entre corpos de prova padrão e encamisados com testemunhos extraídos.

O **Capítulo 3** trata sobre o estudo de caso (programa experimental) empregado neste trabalho. É apresentando os equipamentos e materiais que foram empregados bem como os procedimentos metodológicos.

O **Capítulo 4** apresenta as análises dos resultados obtidos com base nos ensaios de resistência a compressão nos testemunhos extraídos e nos corpos de prova padrão e encamisados.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

São apresentadas neste capítulo as definições de concreto, materiais constituintes do concreto, adensamento, procedimentos de cura, ensaios laboratoriais e a relação de resistência entre corpos de prova padrão e testemunhos extraídos.

2.1. CONCRETO

De acordo com Neville e Brooks (2013) o concreto, em um sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante que, geralmente, esse meio é o produto da reação entre um cimento hidráulico e água, mas atualmente essa definição pode cobrir uma larga gama de produtos. O concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolanas, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. Além disso, esses concretos podem ser aquecidos, curados a vapor, auto-clavados, tratados a vácuo, prensados, vibrados por impacto, extrusados e projetados.

Para Romano et al. (2011) o desempenho final de um concreto é muito complexo. O desenvolvimento sistemático de uma composição deve garantir que a obtenção de uma natureza reológica adequada as condições de aplicação não resulte em características microestruturais que afetem as propriedades no estado endurecido. Desta forma, as técnicas de caracterização reológica têm papel fundamental no desenvolvimento desta tecnologia, permitindo a adequação do comportamento reológico dos materiais às demandas associadas a diferentes processos.

2.1.1. Propriedades do concreto fresco

Sobre as propriedades do concreto no estado fresco relevantes a este estudo, destacamos: consistência e trabalhabilidade, coesão e segregação, e exsudação.

2.1.1.1. Consistência e trabalhabilidade

Para Romano et al. (2011) a adequação do comportamento de um concreto no estado fluído tem sido tradicionalmente definida por meio do subjetivo conceito de trabalhabilidade, que é definida de diferentes maneiras por entidades ligadas à tecnologia do concreto, como por exemplo:

- Association of Concrete Engineers (Japão): facilidade com a qual o material pode ser misturado, lançado e adensado devido a sua consistência, além da homogeneidade do concreto e do grau de resistência a separação de materiais;
- American Concrete Institute (ACI): facilidade e homogeneidade do material na mistura, lançamento, adensamento e acabamento;
- American Society for Testing and Materials (ASTM): a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto com uma perda mínima de homogeneidade;
- British Standards Institution: facilidade de manipulação e adensamento do material.

Romano et al. (2011) ainda diz que de maneira geral, consistência tem a ver com a facilidade de escoamento do material e com a sua coesão, enquanto

trabalhabilidade está relacionada com a adequação do concreto em todas as etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento, conforme ilustrado na figura 1.



Figura 1. Conceito que abrangente de trabalhabilidade envolvendo todas as etapas (ROMANO et al. (2011))

2.1.1.2. Coesão e segregação

De acordo com Neville e Brooks (2013) o concreto não pode segregar, ou seja, deve ser coeso. A segregação pode ser definida como a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea. A segregação pode ser influenciada pela granulometria dos agregados mas a real extensão da segregação depende do método de manuseio e lançamento do concreto. Caso o concreto seja lançado diretamente da caçamba ou carrinho de mão em sua posição final nas fôrmas, o risco de segregação é pequeno, mas caso o lançamento do concreto se de em alturas consideráveis, passando por calhas, em especial com mudanças de direção, favorece a ocorrência de segregação e, portanto, devem ser utilizadas misturas de maior coesão.

2.1.1.3. Exsudação

Para Neville e Brooks (2013) exsudação é uma forma de segregação na qual há tendência da água de amassamento de vir à superfície do concreto recém lançado. É causado pela incapacidade dos constituintes sólidos da mistura em reter toda a água de amassamento quando eles se assentam em direção ao fundo. O seu resultado é o topo da camada de concreto lançada ter excesso de água e, caso a água seja aprisionada pelo concreto sobreposto, o resultado se dá por uma camada de concreto porosa, fraca e não durável. Caso a água de exsudação seja remisturada durante o acabamento superficial, é formada uma superfície de baixa resistência ao desgaste.

2.1.2. Propriedades do concreto endurecido

Sobre as propriedades do concreto no estado endurecido relevantes a este estudo, destacamos: resistência mecânica, propriedades elasto-plásticas, retração, resistência à compressão e resistência à tração.

2.1.2.1. Resistência mecânica

De acordo com Andrade e Tutikian (2011) a resistência mecânica do concreto define-se como sendo a capacidade do material de suportar as cargas aplicadas sobre ele, sem que o mesmo entre em ruína. A resistência mecânica é historicamente, o parâmetro mais empregado para se avaliar a qualidade do material, embora sabe-se que, para determinadas aplicações, outras características são exigidas. O conhecimento da resistência do concreto é de extrema importância, pois nos elementos estruturais o concreto pode ser

solicitado à compressão, à tração, ao cisalhamento ou a uma combinação dos três tipos de tensão em várias direções, dependendo das características dos esforços solicitantes atuantes no elemento estrutural. O concreto endurecido é constituído pela pasta de cimento Portland hidratada e pelos agregados. Tanto os agregados quanto a pasta de cimento apresentam um comportamento de tensão-deformação diferenciados se comparado ao concreto, conforme mostrado na figura 2.

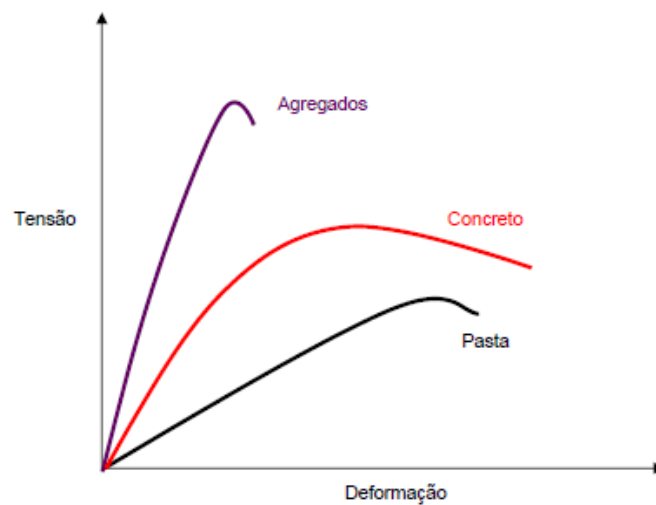


Figura 2. Comportamento tensão-deformação do concreto e seus materiais constituintes (ANDRADE E TUTIKIAN; 2011)

Fatores que influenciam na resistência

De acordo com Neville & Brooks (2013) os principais fatores influentes na resistência do concreto, verificados na prática são:

- Relação água/cimento;
- Grau de adensamento;
- Idade;
- Temperatura;
- Relação agregado/cimento;
- Qualidade do agregado;
- Dimensão máxima do agregado;
- Zona de transição.

A relação água/cimento (a/c) na resistência é um fator muito importante. De acordo com Aiticin (2000, apud Andrade e Tutikian, 2011, p. 621) o conceito de relação a/c tem sido o pilar da tecnologia do concreto, sendo considerado simples desde que o concreto não possua nenhum material cimentício além do cimento Portland. Mas com o emprego crescente das adições minerais nos concretos, o termo relação água/aglomerante (a/agl) também é bastante empregado na moderna tecnologia do concreto.

Ainda de acordo com Andrade e Tutikian (2011) a resistência final do concreto no estado endurecido dependerá das características do agregado graúdo e da zona de transição entre o agregado e a pasta. A medida que se aumenta o diâmetro máximo do agregado graúdo, pode-se verificar a ocorrência de dois efeitos opostos na resistência do concreto. O primeiro está relacionado com a diminuição da água de amassamento (o que levaria a um aumento da resistência final). Contudo, agregados maiores tendem a apresentar zonas de transição mais fracas, com uma maior probabilidade de ocorrência de microfissuras. A natureza do agregado também influencia diretamente na forma e na textura superficial das suas partículas. Agregados naturais, como o seixo rolado, apresentam uma forma mais arredondada e uma textura superficial mais lisa, o que é diferente dos agregados britados, que possuem forma irregular e textura superficial rugosa. Portanto, agregados britados vão proporcionar aos concretos uma maior resistência, tanto à compressão quanto à tração, em função da maior ligação física existente entre o agregado e a pasta de cimento endurecida.

O tipo de cimento também influencia significativamente na resistência do concreto, causado por suas diferentes propriedades físicas e químicas, que são características de cada tipo de cimento. Quanto mais fino for o cimento, maior será a velocidade de reação com consequente ganho de resistências a menores idades. Outro fator que influencia é a presença de adições minerais que são incorporadas na sua fabricação.

2.1.2.2. Propriedades elasto-plásticas do concreto

Para Shehata (2011), o comportamento do concreto submetido a tensões normais de compressão e de tração só pode ser representado aproximadamente pela lei de Hooke quando a tensão fica abaixo de determinado nível. Nesse caso, as relações entre tensões normais e deformações específicas são definidas pelo módulo de elasticidade longitudinal e pelo coeficiente de Poisson do concreto. Abordam-se os parâmetros que afetam estas grandezas e os métodos de ensaio para determiná-las, bem como expressões para a avaliação aproximada do módulo de elasticidade longitudinal a partir da resistência à compressão do concreto. A forma e a dimensão da seção transversal, a relação entre comprimento e essa dimensão, e a direção de concretagem são parâmetros influenciadores relacionados aos corpos de prova. O teor de umidade do corpo-de prova, a velocidade de aplicação de tensão ou deformação, a restrição à deformação nas extremidades do corpo de prova causada pela placa de carregamento, o comprimento ao longo do qual se mede a deformação, o diâmetro do prato transmissor de carga e a rigidez da prensa são parâmetros relativos ao procedimento de ensaio.

2.1.2.3. Retração

De acordo com Almeida (2002) a retração é a diminuição de volume do concreto desde o fim da cura até atingir um estado de equilíbrio compatível com as condições ambientes e se processa mais rapidamente entre 3 a 4 meses após a mistura. A variação da temperatura ambiente não se transmite instantaneamente ao concreto, mas tem uma ação retardada sobre a variação da temperatura deste, sendo de amplitude tanto menor quanto mais afastado da superfície exposta ao ar estiver o ponto considerado.

Em peças permanentemente envolvidas por terra ou água e em edifícios que tenham, em planta, dimensão ou juntas de dilatação não superior a 30,00m, dispensa-se à consideração da influência da variação da temperatura.

2.1.2.4. Resistência à compressão

Almeida (2002) diz que a resistência à compressão simples é a característica mais importante de um concreto. É determinada em corpos de prova padronizados para possibilitar que resultados de diferentes concretos possam ser comparados para obter-se a resistência *característica à compressão do concreto*, f_{ck} .

A resistência do concreto à compressão, para um mesmo cimento, sofre influência de alguns fatores, como: fator água/cimento, idade do concreto, forma e dimensão do corpo de prova e qualidade dos materiais.

2.1.2.5. Resistência à tração

Segundo Almeida (2002), a resistência à tração depende de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa.

De acordo com o método de ensaio obtém-se diferentes valores para a resistência à tração axial, resistência à tração na flexão e resistência à tração por compressão diametral.

2.2. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

Os materiais constituintes do concreto relevantes a este estudo são: cimento Portland, agregados, água de amassamento e aditivos.

2.2.1. Cimento Portland

De acordo com Battagin (2011), o principal constituinte do cimento Portland é o clínquer, que é oriundo da calcinação a aproximadamente 1450°C de uma mistura de calcário e argila e eventuais corretivos químicos. Para obtenção do clínquer Portland e finalmente o cimento Portland, em escala industrial, é necessária uma operação complexa que pode ser entendida na figura 3.

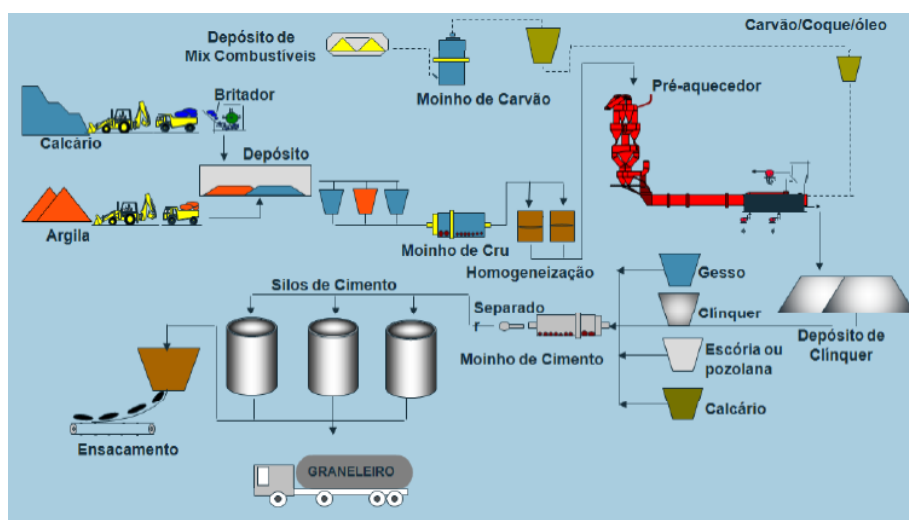


Figura 3. Esquema de fabricação do cimento Portland (BATTAGIN, 2011)

Para Neville & Brooks (2013), a matéria prima utilizada para a produção do cimento Portland é principalmente calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. Esses compostos se combinam no forno e formam uma série de produtos mais complexos. Quatro compostos são destacados como os principais constituintes do cimento e são listados na tabela 1.

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Tabela 1. Principais compostos do cimento Portland (NEVILLE & BROOKS, 2013)

Ainda de acordo com Neville & Brooks (2013), os silicatos C_3S e C_2S , são os compostos responsáveis pela resistência da pasta de cimento. O C_3A é indesejável no cimento, pois ele contribui pouco ou quase nada para a resistência do cimento, exceto nas primeiras idades, por outro lado ele acaba sendo benéfico à produção do cimento pois facilita a combinação do óxido de cálcio com a sílica. Já o C_4AF também está presente em pequenas quantidades no cimento, ele reage com a gipsita para formar sulfoferrito de cálcio e sua presença pode acelerar a hidratação dos silicatos. A tabela 2. apresenta as características desses compostos.

	Teor (%)	Taxa de hidratação	Contribuição para		
			Resistência inicial	Resistência final	Calor de hidratação
C_3S	50-70	Alta	Alta	Baixa	Alta
C_2S	15-30	Baixa	Baixa	Alta	Baixa
C_3A	5-10	Alta	Alta	Baixa	Alta
C_4AF	5-10	Moderada	Baixa	Alta	Baixa

Tabela 2. Características dos principais componentes do clínquer (PECCHIO, 2017)

De acordo com Battagin (2011), existem no Brasil oito tipos básicos de cimento Portland normalizados, mas com os seus subtipos chegam a mais de duas dezenas disponíveis. Se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio e de adições, tais como escórias, pozolanas e fíler calcário, acrescentadas no processo de moagem. Podem diferir também em função de

propriedades intrínsecas, como alta resistência inicial, a cor branca e etc. Os tipos de cimento normalizados são descritos abaixo:

- Cimento Portland Comum;
 - CP I – Cimento Portland Comum;
 - CP I-S – Cimento Portland Comum com Adições;
- Cimento Portland Comum (CP II);
 - CP II-E – Cimento Portland Composto com Escória;
 - CP II-Z – Cimento Portland Composto com Pozolana;
 - CP II-F – Cimento Portland Composto com Fíler;
- Cimento Portland de Alto-Forno (CP III);
- Cimento Portland Pozolânico (CP IV);
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI);
- Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS);
- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC);
- Cimento Portland Branco (CPB).

Suas nomenclaturas e composições básicas são apresentados no quadro 1.

Nome técnico do cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Fíler Calcário
Comum	CPI	25, 32, 40	100	0		
Comum com adição	CPI-S	25, 32, 40	99-95	1-5		
Composto com Escória	CPH-E	25, 32, 40	94-56	6-34	6-14	0-10
Composto com Pozolana	CPH-Z	25, 32, 40	94-76	0	0	0-10
Composta com Fíler	CPH-F	25, 32, 40	94-90	0	0	6-10
Alto-Forno	CPH	25, 32, 40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPH	25, 32	85-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV - ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistentes a Sulfatos	RS	25, 32, 40	(*)			
Baixo Calor de Hidratação	BC	25, 32, 40	(**)			
Branco Estrutural	CPB	25, 32, 40	(***)			

(*) Quando a característica considerada para definir o cimento como resistente a sulfatos for uma das expressas em 3,1-a) ou 3,1-d) da NBR 5737, este cimento deve atender a uma das seguintes normas: NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 5736 ou NBR 11578

(**) A composição dos cimentos Portland de baixo calor de hidratação deve ser aquela prescrita para o seu tipo original, indicada nas NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 5736 ou NBR 11578, conforme o tipo de cimento usado

(***) A composição dos cimentos Portland brancos deve estar compreendida entre os limites fixados na Tabela 1 da NBR 12989, em relação à massa total do aglomerante

Quadro 1 - Tipos de cimento Portland normalizados no Brasil

2.2.2. Agregados

Sbrighi Neto (2011) define agregado como sendo um material granular, sem forma ou volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, em particular a produção de concretos e argamassas de cimento Portland.

Sbrighi Neto (2011) ainda descreve que os agregados são classificados quanto a origem, quanto a dimensão dos grãos e quanto a massa unitária. Quanto a origem, eles podem ser naturais, britados, artificiais e reciclados. Os naturais são encontrados na natureza já preparados para o uso sem outro beneficiamento que não sejam a lavagem. Os britados são submetidos a processo de cominuição, geralmente por britagem, para que possam adequar-se ao uso como agregados para concreto, como pedra britada, pedrisco, pedregulho, etc. Os artificiais são

derivados de processos industriais, como argila expandida e peletizada, o folhelho expandido por tratamento térmico, a vermiculita expandida, etc. Por fim, os reciclados podem ser resíduos industriais granulares que tenham propriedades adequadas ao uso como agregado ou proveniente do beneficiamento de entulho de construção ou demolição selecionado para esta aplicação, como exemplos escória de alto-forno, entulho de construção/demolição.

Quanto a dimensão dos grãos, os agregados podem ser graúdo e miúdo. O graúdo é o agregado cujo os grãos passam pela peneira com abertura de malha 75mm e ficam retidos na peneira de malha 4,75mm. O agregado miúdo é aquele cujo os grãos passam pela peneira de abertura de malha 4,75mm.

Quanto a massa unitária, os agregados são chamados de normais, leves e pesados. A maioria dos agregados naturais, como areia e pedregulho por exemplo, têm massa unitária entre 1500 e 1700 kg/m³ e produzem os chamados concretos normais. Os agregados definidos como leve são aqueles produzidos a partir da expansão térmica de argila, escória, vermiculita, ardósia, resíduo de esgoto (parte mineral). Os agregados pesados são exemplificados pela barita (minério de bário), hematita (minério de ferro), limonita (crostas hidratadas de minerais ferruginosos).

2.2.3. Água de amassamento

De acordo com Isaia (2011), a água é um componente vital do concreto pois, junto ao cimento, produz a matriz resistente que aglutina os agregados e confere a compacidade da matriz.

De acordo com Neville & Brooks (2013) em muitas especificações estabelecem que a água potável é adequada para uso em concreto. O critério de potabilidade da água não é absoluto, pois a água potável pode ser inadequada como água de amassamento quando contiver uma alta concentração de sódio e

potássio. Em geral, a utilização de água potável é segura, mas a água não potável também pode ser utilizada para a produção do concreto, tendo desempenho satisfatório. Qualquer água com pH entre 6,0 e 8,0, sem sabor salino ou salobro é adequada ao uso, e a coloração escura ou odor não necessariamente implicam em dizer que existem substâncias deletérias.

Para Isaia (2011) a água no concreto fresco é o agente que promove a diminuição do atrito por meio de película envolvente aos grãos, promovendo a aglutinação do agregado por intermédio da pasta de cimento, dando coesão e consistência para que o concreto possa ser trabalhável desde sua produção até sua colocação nas formas, sem que perca homogeneidade. No concreto endurecido, as reações de hidratação diminuem de velocidade com o tempo porque se processam do exterior para o interior do grão de cimento. Portanto, as propriedades resultantes dependem do tempo, além de outros fatores como disponibilidade de água para a continuidade das reações, condições de cura, condições ambientais entre outras.

Para que se ocorra a hidratação total do cimento, deve haver quantidade de água suficiente para que as reações se processam integralmente. Adota-se a relação água/cimento (a/c) para exprimir a qualidade global do concreto. Assim, considera-se como valor-chave a relação $a/c \sim 0,40$ para que haja hidratação completa (inclui a água interlamelar) e, $\sim 0,25$ para água quimicamente combinada, esses valores dependem do tipo de cimento empregado.

O teor de água do concreto fresco é dado pelo fator água-cimento, isto é, pela relação em peso água-cimento. A consistência do concreto fresco traduz as propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto.

2.2.4. Aditivos

Conforme a NBR 11768:2011, aditivos químicos são produtos que, adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland, modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições. Essa norma classifica os aditivos em:

- Aditivo redutor de água/plastificante (PR, PA, PN);
- Aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo I (SP-I R, SP-I A, SP-I N);
- Aditivo de alta redução de água/superplastificante tipo II (SP-II R, SP-II A, SP-II N);
- Aditivo incorporador de ar (IA);
- Aditivo acelerador de pega (AP);
- Aditivo acelerador de resistência (AR);
- Aditivo retardador de pega (RP).

*R: significa aditivo retardador; A: aditivo acelerador; N: aditivo de pega normal.

2.3. ENSAIOS LABORATORIAIS

Para garantir a solidez de uma estrutura, o concreto deve obter as características físicas e mecânicas especificadas em projetos de uma determinada obra. Para garantir que o concreto obteve e/ou obtém tais características, ele é submetido a ensaios realizados em laboratórios de materiais de construção. Os ensaios são realizados com o concreto nos estados fresco e endurecido.

No Brasil, os ensaios laboratoriais realizados em concretos são padronizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através de suas Normas Regulamentadoras (NBR`s).

2.3.1. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

Também conhecido como Slump-Test, este ensaio é prescrito pela NBR NM 67:1998 que especifica um método para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, em laboratório e obra.

Com o resultado pode-se verificar se concreto está atendendo a consistência solicitada.

De acordo com Neville e Brooks (2013), é de vital importância que o concreto fresco tenha consistência ou trabalhabilidade suficiente para que possa ser adequadamente transportado, lançado, adensado e acabado de forma relativamente fácil, mas sem sofrer segregação. O principal fator que afeta a trabalhabilidade é o teor de água da mistura, pois pela simples adição de água a lubrificação entre as partículas é aumentada.

2.3.2. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto

De acordo com Neville e Brooks (2013) a resistência do concreto normalmente é considerada a propriedade mais importante, embora, outras características podem ser de fato mais importantes. No entanto, a resistência normalmente dá uma ideia geral da qualidade do concreto, por estar diretamente ligada à estrutura da pasta de cimento.

Este ensaio é prescrito pela NBR 5739:2007 que tem por objetivo prescrever o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos-de-

prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 5738:2015 ou extraídos conforme a NBR 7680-1:2015.

Com os resultados das resistências à compressão desses corpos-de-prova, obtém-se a resistência característica estimada do lote de concreto.

Metha e Monteiro (1994) descreve que em corpos-de-prova secos ao ar no momento do ensaio, os resultados de ensaios à compressão apresentam um incremento de 20 a 25 % em relação ao dos corpos-de-prova correspondentes ensaiados em condição saturada. De acordo com de Souza (2006), esta menor resistência do concreto saturado é provavelmente devida à existência de uma pressão de água nos poros capilares da pasta, no momento do ensaio de ruptura.

2.3.3. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

Podem-se definir absorção de água como sendo o processo pelo qual a água ocupa os poros permeáveis do concreto. Já o índice de vazios é a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra. Por fim, a massa específica é a relação entre a massa e o volume da amostra, podendo se determinar a massa específica seca, saturada e real. Tudo de acordo com o prescrito pela NBR 9778:2005.

2.4. ADENSAMENTO DO CONCRETO

De acordo com Geyer e Sá (2006), o adensamento é um processo manual ou mecânico que tem por finalidade compactar o concreto no estado fresco para que se elimine os vazios internos da mistura (bolhas de ar) ou facilitar a acomodação do interior das formas.

Para Cintra *et. al.* (2013), a vibração é o método de adensamento mais utilizado em concretagens de estruturas. O excesso de vibração promove a segregação do concreto, pois o agregado graúdo, que tem densidade maior que a da argamassa, tende a se separar durante a vibração.

Há dois tipos de vibração de concreto: interna e externa. Na vibração interna, o vibrador é imerso no interior da massa e as ondas vibratórias se propagam. Já na vibração externa, é aplicada uma vibração na superfície da massa ou da forma e as ondas penetram no interior desta massa.

Para o adensamento dos corpos de prova padrão a escolha do método de adensamento deve ser feita em função do abatimento do concreto determinada de acordo com a NBR NM 67:1998, nas condições estabelecidas na NBR 7638:2015: adensamento manual com haste e adensamento por vibração (interno e externo).

2.5. A CURA DO CONCRETO

A cura do concreto constitui uma medida adotada para evitar a evaporação da água utilizada no amassamento do concreto e assim garantir que os componentes do cimento se hidratem. Nos concretos convencionais há unanimidade em aceitar que a cura adequada é condição essencial para a obtenção de um concreto durável.

A NBR 14931:2004 destaca que, enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deverá ser curado e protegido contra qualquer agente que lhe possa causar danos (perda de água pela superfície exposta, por exemplo). Para elementos estruturais de superfície, como lajes, a NBR 14931:2004 enfatiza que a cura deve se dar até que o concreto atinja resistência característica à compressão igual ou superior a 15 MPa.

Tem sido aceito pelo meio técnico e científico a definição da duração do processo de cura em função do tipo de cimento e da relação água-cimento do concreto, conforme se observa na tabela 3.

A cura do concreto em um piso, por exemplo, de acordo com Rodrigues (2010) é o procedimento executivo que mais altera a qualidade do piso, caso não seja executado corretamente, e isso não afeta somente o ganho de resistência, mas também a retração do concreto e consequentemente sua durabilidade.

Ainda conforme Rodrigues (2010), existe a cura inicial e a cura complementar, ambas podem ser executadas em um piso industrial. A cura inicial é iniciada logo após às operações de lançamento e adensamento do concreto e é no seu período que há maior influência dos fenômenos de superfície e, diferentemente das estruturas, assume papel fundamental nos pisos. A cura complementar é iniciada após o acabamento final quando a superfície não é tão frágil e pode-se empregar meios diretos como a aplicação de membranas de cura (cura química), filmes plásticos e outros meios, que podem ficar até o período final da cura.

Tipo de Cimento	Fator Água/Cimento			
	0,35	0,55	0,65	0,7
CP I e II-32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP IV- 32	2 dias	3 dias	7 dias	10 dias
CP III- -32	2 dias	5 dias	7 dias	10 dias
CP I e II-40	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias
CP V-ARI	2 dias	3 dias	5 dias	5 dias

Tabela 3. Tempo mínimo de cura do concreto conforme a relação a/c (CAMARINI, 1995)

2.5.1. Processos de cura

- Cura úmida: mantém-se a superfície do concreto úmida por meio de alagamento ou aspersão;
- Cura química: utiliza-se agentes de cura (base PVA ou Parafina) com o propósito de formar um filme sobre a superfície do concreto fresco.

2.5.1.1. Cura úmida por alagamento

O processo de alagamento consiste em cobrir com água a superfície exposta da estrutura de concreto, dispensando a molhagem contínua. Na maioria dos casos, é preciso construir uma barreira de contenção (de areia, serragem, madeira, dentre outras opções) ao redor do elemento estrutural para que a água não vaze ou escorra.

2.5.1.2. Cura química

Para Rodrigues (2010), as membranas de cura, conhecidas também como cura química, são muito utilizadas, principalmente em áreas externas.

De acordo com Peinado (2013), vários tipos de compostos líquidos formadores de membranas podem ser aplicados sobre a superfície do concreto para reduzir ou retardar a perda de umidade, sendo sua aplicação recomendada para a maioria dos casos. O método que faz uso desses compostos formadores de membrana é conhecido como cura química e sua eficácia depende da qualidade dos produtos utilizados, do tempo transcorrido até o início da aplicação e da uniformidade da aplicação do produto na superfície. A aplicação dos compostos

pode ser feita com regadores ou equipamentos de pulverização, em uma ou duas camadas (perpendiculares entre si), dependendo das especificações do produto. Regadores podem apresentar consumo em excesso do produto, de forma que, na maioria dos casos, recomenda-se o uso de equipamentos de pulverização. Ressalta-se que a superfície a ser submetida ao processo de cura deverá estar limpa (não apresentar pó, óleos, graxas ou resíduos de desmoldantes) e livre de estoques de materiais que obstruam a aplicação do produto em toda a superfície do elemento estrutural sob cura. Normalmente, o produto é aplicado quando a superfície do concreto está úmida. Esses produtos podem ser aplicados sobre o concreto no estado fresco, sobre o concreto endurecido, após a remoção das fôrmas ou após a cura úmida. A secagem do produto acontece em aproximadamente duas horas, quando a área pode ser liberada para o tráfego de pessoas e de materiais, permitindo a continuidade da execução da estrutura.

Para Rodrigues (2010) a cura complementar, que é iniciada após o acabamento final, quando a superfície não é tão frágil, deve-se prolongar até que o concreto tenha alcançado pelo menos 75% da sua resistência final, quando então sua baixa permeabilidade garantirá por si própria a manutenção da umidade para a completa hidratação do cimento. É comum, ao final do período de cura (normalmente sete dias), a ocorrência de pó na superfície do elemento estrutural de concreto. Esse material deverá ser removido por meio de lavagem com água e sabão neutro ou jato de areia, principalmente no caso de superfícies que receberão algum tipo de acabamento. Deve-se cuidar para que o produto não seja aplicado na região interna das esperas dos pilares, uma vez que o concreto nesse local apresenta irregularidades que dificultam a limpeza do pó remanescente do produto, o que poderá provocar problemas de aderência entre concretos e prejudicar o desempenho do elemento estrutural.

De acordo com o catálogo da fabricante GRACE Brasil Ltda, há duas linhas do produto no mercado, uma à base de parafina (PA) e outra à base de poliacetado de vinila (PVA). Ambas são indicadas para o uso de grandes

superfícies de concreto expostas a céu aberto, como aeroportos, barragens, estradas e etc, a diferença é que o produto à base PVA é especialmente indicado para uso em todas as superfícies que posteriormente venham receber nova camada de concreto, pintura ou revestimento.

2.6. RELAÇÃO DE RESISTÊNCIA ENTRE CORPOS DE PROVA PADRÃO/TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS

Segundo o ACI 214.4R-2003 o broqueamento minimiza a resistência à compressão obtida através da extração de testemunhos porque consideram negativos a ação das microfissuras, as ondulações ao longo da superfície do testemunho e corte das partículas do agregado.

Vieira (2007), avaliou a resistência à compressão do concreto na estrutura através de corpos de prova padrão e testemunhos extraídos, com o objetivo de quantificar o coeficiente de correção devido aos efeitos de broqueamento na extração.

Para Vieira (2007) a avaliação da resistência à compressão de testemunhos extraídos das estruturas de concreto é considerada por vários pesquisadores, como o método de maior confiabilidade por permitir uma avaliação direta do concreto na estrutura, porém, o mesmo é influenciado por diversos fatores que interferem na interpretação dos seus resultados. Entre estes fatores, encontram-se os danos causados pela extração, denominados de efeitos de broqueamento.

Na tabela 4 é apresentado um resumo das relações encontradas por Vieira (2007) entre corpos de prova padrão curados úmidos e testemunhos extraídos em blocos curados úmidos e ao ar, o qual foi o objetivo principal de sua tese. Já na tabela 5 é apresentado outro resumo, igualmente ao da tabela 4,

porém, os corpos de prova padrão foram curados ao ar, somente para estudo comparativo.

Lote f_{ck}	CORPOS-DE- PROVA DE REFERÊNCIA (curados úmidos)	$R_{(ME)} = f_{cm}/f_{ce}$									
		Testemunhos (Blocos curados úmidos)					Testemunhos (Blocos curados ao ar)				
		15x30	10x20	7,5x15	5x10	2,5x5	15x30	10x20	7,5x15	5x10	2,5x5
01 20MPa	10 x 20	1,10	1,11	1,17	1,14	0,95	1,15	1,17	1,23	1,20	1,04*
	15 x 30	1,07	1,08	1,14	1,10	0,92	1,10	1,12	1,18	1,15	1,00*
02 50MPa	10 x 20	1,01*	1,01*	1,05	1,04	0,96	1,03*	1,04	1,07	1,05	0,98*
	15 x 30	1,02*	1,02	1,06	1,05	0,97*	1,06	1,08	1,10	1,09	1,01*
03 70MPa	10 x 20	1,05	1,04	1,08	1,05	1,00*	1,13	1,09	1,11	1,12	1,06
	15 x 30	1,03*	1,03*	1,06	1,03*	0,98*	1,11	1,07	1,10	1,10	1,04
04 65MPa 28 dias	10 x 20	1,14	1,14	1,13	1,03*	0,93	1,19	1,16	1,10	1,04*	0,96*
	15 x 30	1,17	1,17	1,16	1,06	0,96	1,23	1,19	1,13	1,07	0,99*
04 65MPa 90 dias	10 x 20	1,12	1,06*	1,05	1,10	0,97*	1,13	1,03*	1,06	1,11	0,98*
	15 x 30	1,12	1,06*	1,05*	1,10	0,97*	1,00*	0,92	0,94	0,99*	0,88

(*) Rejeitada a hipótese experimental

Tabela 4 - Resumos das relações tomando-se como base corpos de prova curados úmidos (Vieira, 2007)

Lote f_{ck}	CORPOS-DE- PROVA DE REFERÊNCIA (curados ao ar)	$R_{(ME)} = f_{cm}/f_{ce}$				
		Testemunhos (Blocos curados ao ar)				
		15x30	10x20	7,5x15	5x10	2,5x5
01 20MPa	10 x 20	1,13	1,14	1,20	1,17	1,02*
	15 x 30	1,10	1,12	1,18	1,15	1,00*
02 50MPa	10 x 20	1,03*	1,04	1,07	1,05	0,98*
	15 x 30	1,04*	1,06	1,08	1,07	1,00*
03 70MPa	10 x 20	1,10	1,06	1,09	1,09	1,03
	15 x 30	1,12	1,08	1,10	1,10	1,04
04 65MPa 28 dias	10 x 20	1,21	1,18	1,12	1,05*	0,97*
	15 x 30	1,23	1,20	1,14	1,07	0,99*
04 65MPa 90 dias	10 x 20	1,10	1,01*	1,04	1,08	0,96*
	15 x 30	1,13	1,03*	1,06	1,11	0,98*

(*) Rejeitada a hipótese experimental

Tabela 5 - Resumos das relações tomando-se como base corpos de prova curados ao ar (Vieira, 2007)

Segundo Vieira (2007), a resistência dos testemunhos representa a resistência do concreto na estrutura, onde f_{cm} é a resistência de corpos de

prova padrão denominada potencial e $f_c(e)$ é a resistência do testemunho extraído denominada efetiva, a relação $R(m/e) = f_c(m)/f_c(e)$, corresponde a parcela γ_c2 do coeficiente normativo de ponderação de resistência do concreto γ_c . A NBR 6118:2003 estabelece para o coeficiente γ_c o valor de 1,4 sem especificar a parcela γ_c2 . O CEB (Comitê Europeu do Concreto) igualmente recomenda 1,4 para o γ_c citando o valor de 1,10 para o γ_c2 . Especificamente quanto a correção devido aos danos causados pela extração de testemunhos o ACI 214 4R-2003 indica o coeficiente de 1,06 para ser multiplicado pela resistência dos testemunhos nas avaliações estruturais.

Cremonini e Helene (1994), buscaram como objetivo quantificar a diferença entre estas resistências, para mostrar a real diferença e fornecer subsídios para a normalização relacionada ao dimensionamento e segurança de estruturas de concreto, pois em projetos de estruturas de concreto há adoção de coeficientes que minoram a resistência do concreto, que tem como valor mais comum 1,4. Determinaram a relação entre a resistência potencial do concreto e a resistência efetiva, comparando os resultados de resistência à compressão entre corpos de prova moldados (padrão) e rompidos de acordo com a norma vigente à época e testemunhos extraídos dos componentes estruturais das obras em que foram moldados os corpos de prova. Os corpos de prova foram moldados em formas cilíndricas de diâmetro 150mm e altura igual a 300mm. Os testemunhos extraídos foram de 75mm no comparativo realizado em Brasília-DF e 100mm no comparativo realizado em Porto Alegre-RS. Em Brasília-DF, as extrações foram realizadas em pilares, no sentido ortogonal ao lançamento do concreto. Em Porto Alegre-RS, as extrações foram realizadas em lajes, no mesmo sentido do lançamento do concreto.

Cremonini e Helene (1994) afirmam que, a diferença entre as resistências médias potencial e efetiva, apresentaram coeficientes f_{mcp}/f_{mtt} nos valores de 1,26 para os ensaios realizados em Brasília-DF; 1,22 para os ensaios

realizados em Porto Alegre-RS e 1,24 na análise conjunta das duas cidades, podendo este último ser considerado como resultado final do estudo realizado.

A NBR 7680-1:2015 estabelece requisitos para extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Com os coeficiente impostos por esta norma, é possível obter a resistência corrigida dos testemunhos extraídos, que corresponde à resistência do concreto à compressão e pode, na maior parte dos casos, ser comparada ao resultado obtido em corpos de prova moldados a partir do concreto no estado fresco visando: a sua aceitação do estado endurecido e ao conhecimento da resistência real do concreto da estrutura, na idade do ensaio.

Os coeficientes usados para se obter a resistência corrigida dos testemunhos extraídos são apresentados nos itens abaixo:

2.6.1. Relação h/d (k_1)

O resultado de resistência à compressão do testemunho deve ser corrigido, sendo utilizado os coeficientes definidos na tabela 6.

h/d	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
k_1	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14

Tabela 6 – Valores de K_1 (FONTE: NBR 7680-1:2015)

2.6.2. Efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho (k_2)

O efeito deletério do broqueamento deve ser considerado em todos os casos e é maior quanto menor for o diâmetro do testemunho. Para levar em conta o efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho, emprega-se k_2 de acordo com a Tabela 7.

Diâmetro do testemunho (d_t) mm	≤ 25	50 ^a	75	100	≥ 150
k_2	Não permitido	0,12	0,09	0,06	0,04
^a Neste caso, o número de testemunhos deve ser o dobro daquele estabelecido na Tabela 1.					

Tabela 7 - Valores de K_2 (FONTE: NBR 7680-1:2015)

2.6.3. Direção da extração em relação ao lançamento do concreto (k_3)

Os corpos de prova devem ser ensaiados sempre que possível no sentido do lançamento do concreto. Para extrações realizadas no sentido ortogonal ao lançamento (como pilares, cortinas e paredes moldados no local), $k_3 = 0,05$. Para extrações realizadas no mesmo sentido do lançamento (como lajes), $k_3 = 0$.

2.6.4. Efeito da umidade no testemunho (k_4)

Quando o concreto da região da estrutura que está sendo examinada não estiver em contato com água, os testemunhos devem ser mantidos expostos ao ar, em ambiente de laboratório, por no mínimo 72 h, obedecendo aos critérios de temperatura da NBR 5738:2015, e ensaiados no estado de equilíbrio que se encontrem. No caso de ensaio do testemunho seco ao ar, $k_4 = - 0,04$.

Quando o concreto da região da estrutura que está sendo examinada estiver em contato com água, os testemunhos devem ser acondicionados em tanque de cura ou câmara úmida (NBR 9479), por no mínimo 72 h, sendo rompidos saturados, obedecendo aos critérios de temperatura da ABNT NBR 5738:2015. Os testemunhos devem ser rompidos saturados (neste caso, $k_4 = 0$).

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo, será apresentado o experimento realizado com o intuito de analisar o desempenho e a verificação da influência da cura química na resistência à compressão do concreto.

O programa experimental consiste na avaliação da eficiência dos procedimentos de cura por imersão, cura ao ar, cura química base de parafina (PA) e cura química base poliacetato de vinila (PVA), aplicadas sobre corpos de prova padrão e encamisados e testemunhos extraídos, em três classes distintas de concreto de uma mesma família.

Alguns parâmetros foram considerados constantes em todo o estudo, sendo:

Quanto ao concreto usinado:

- classe de abatimento S100;
- agregado utilizado na composição;
- produção na mesma unidade.

Quanto a quantidade e dimensão dos exemplares:

- dimensão nominal pretendida: 100x200mm;
- quantidades: 3 exemplares por tipo de cura / classe de concreto.

Quanto ao método de adensamento:

- corpos de prova padrão adensados manualmente, conforme NBR 5738:2015;
- testemunhos e corpos de prova encamisados adensados mecanicamente em agitador elétrico para peneira quadrada, em tempo (5 segundos) e frequência (50Hz) similares.

3.1. EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

A seguir serão descritos os equipamentos e materiais utilizados.

3.1.1. Concreto

Considerando o volume de concreto necessário para a realização do experimento e a necessidade de um mesmo concreto (mesma amassada) em quantidade suficiente para o preenchimento das caixas e dos corpos de prova, optou-se pelo uso de concreto usinado, fornecido pela Engemix filial Florianópolis/SC. Foram disponibilizados aproximadamente 1m³ de concreto em três classes distintas – C25, C30 e C35, coletados conforme demanda comercial da central dosadora. Os traços teóricos são apresentados na tabela 8.

Traço	fck 25MPa Br0	fck 30MPa Br0	fck 35MPa Br0
Data	09/05/2017	04/05/2017	09/05/2017
Matéria prima	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Brita 25	612	612	617
Brita 12,5	411	410	408
Areia fina	522	537	553
Areia de brita tipo II	382	386	374
CP II F 40	233	255	254
Cinza	59	63	64
Aditivo polifuncional	1,7	1,9	1,9
Água rede abast.	141,1	152,3	144,9
Totais	2360	2418	2417
A/C	0,48	0,48	0,46
Teor de argamassa	0,54	0,55	0,55

Tabela 8 – Traços dos concretos fornecidos

No dia 04/05/2017 foram coletadas amostras dos agregados utilizados nos traços estudados para realização dos ensaios de caracterização – análise granulométricas, apresentados nas tabelas 9, 10, 11 e 12 e nos gráficos 1 e 2, encontrados nos apêndices.

3.1.2. Agentes de cura

Os agentes de cura para concreto utilizados foram fornecidos pela GRACE Brasil Ltda. Abaixo, breve apresentação do produto, conforme ficha técnica disponibilizada pelo fabricante:

CuraTec é uma família de produtos destinados a promoverem a cura química do concreto. Possuem em suas formulações compostos químicos base PVA e parafina, de odor característico e secagem rápida.

3.1.3. Caixas de madeira

Caixas de madeira foram confeccionadas e utilizadas como forma na concretagem das peças que reproduziram as placas de concreto, para extração dos testemunhos e acondicionamento dos corpos de prova encamisados em tubos de PVC. As dimensões adotadas foram definidas sob a premissa de se obter condições normativas para a extração de 03 (três) testemunhos por caixa, conforme recomenda a NBR 7680-1:2015, e a acomodação de 03 (três) moldes cilíndricos em PVC para a obtenção de corpos de prova encamisados, conforme mostrado na figura 4.

Ao todo foram confeccionadas 12 caixas, sendo 4 caixas para cada classe de concreto estudada, nas seguintes situações: estrutura de concreto curada ao ar, estrutura de concreto curada com a aplicação de agente de cura química base PA, estrutura de concreto curada com a aplicação de agente de cura química base PVA e estrutura de concreto curada com água (dique). As caixas utilizadas para a simulação da cura com água apresentavam altura excedente em 5cm, para possibilitar a permanência da água sobre o concreto.

Para facilitar a movimentação das caixas, foram previstas alças similares as de padiolas utilizadas em obras de construção civil.

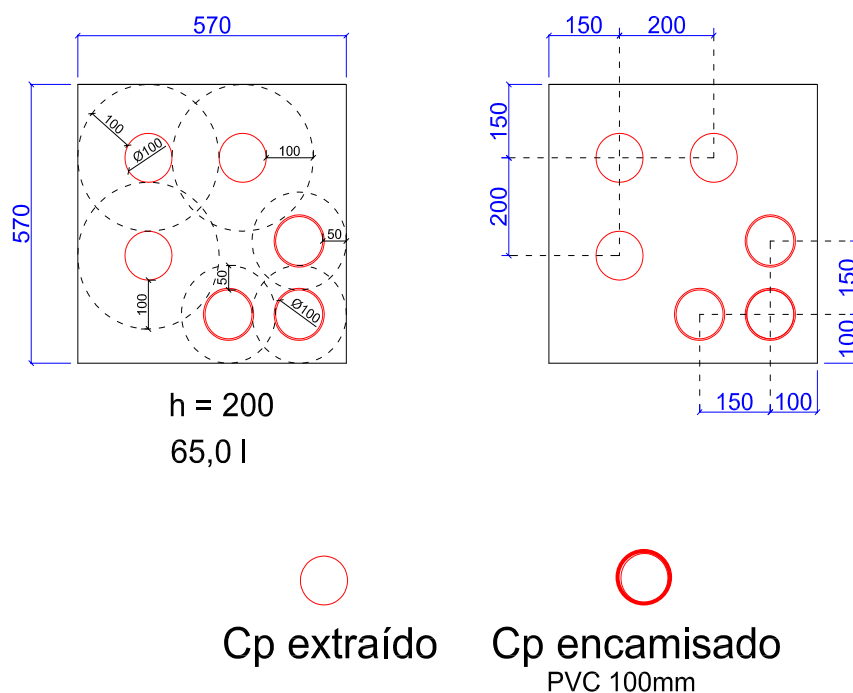


Figura 4 - Croqui das caixas utilizadas como formas para extração de testemunhos e corpos de prova encamisados em PVC

3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de alcançar os objetivos já expostos acima, as atividades nas quais se desdobra o programa experimental foram executadas conforme detalhado a seguir.

3.2.1. Confeções das caixas de madeiras

No mês de abril foram confeccionadas as caixas descritas em 3.1.3. Para este trabalho contamos com a ajuda de mão de obra externa para corte das chapas de madeira e montagem das caixas. Na sequência, procedemos com o

corte e fixação dos tubos de PVC de diâmetro 100mm. Depois de prontas, as caixas foram levadas até a filial da Engemix onde permaneceram até a extração dos testemunhos e corpos de prova encamisados. As fotos 1a e 1b mostram as caixas prontas para utilização no experimento.



3.2.2. Procedimentos de concretagem

Definido o fornecedor do concreto usinado, ainda em abril foi realizada uma reunião de alinhamento na filial da Engemix, em Florianópolis/SC. Na ocasião foram definidos os locais de acondicionamento das caixas e dos corpos de prova curados quimicamente e ao ar e realizada a verificação do funcionamento do agitador de peneiras.

As concretagens foram realizadas nos dias 04 e 09 de maio, sendo no primeiro dia aplicado o concreto classe C25 e na sequência, os concretos de classe C30 e C35. Os procedimentos de concretagem foram similares nas duas datas mencionadas e serão apresentados no parágrafo a seguir.

Após o carregamento do caminhão e ajuste da água no concreto para um abatimento classe S100, foi retirada de cada caminhão de concreto amostra em quantidade suficiente para a verificação da temperatura e do abatimento através do ensaio do abatimento do tronco de cone – Slump Test.

As temperaturas e os valores de abatimento registrados para as três classes de concreto são apresentados na tabela 13.

	Classes		
	C25	C30	C35
Abatimento (mm)	150	145	120
Temp. concreto (°C)	28,5	29,0	30,0
Temp. ambiente (°C)	24,0	26,0	25,0

Tabela 13 - Abatimento/temperatura do concreto

Com a certificação do abatimento na classe pretendida e após o registro da temperatura do concreto, o material foi despejado na concha da pá carregadeira disponível na central, em quantidade estimada em 1m³ por classe de concreto.

Em um carrinho de mão foram separadas as quantidades necessárias para a moldagem dos corpos de prova conforme recomendação normativa, sendo moldados e adensados manualmente 12 corpos de prova por classe de concreto estudada, totalizando 24 corpos de prova, que permaneceram em ambiente de laboratório (exceto corpos de prova curados em água) durante 28 dias, considerando sua idade de rompimento.

Para a vibração do concreto aplicado nas caixas considerou-se o uso do agitador de peneiras como forma de obtenção de um adensamento uniforme e de igual intensidade entre os corpos de prova encamisados e testemunhos extraídos.

As caixas de madeira foram colocadas sobre um carrinho de rodas onde foram preenchidas uma a uma e levadas para vibração no agitador de peneiras imediatamente após o preenchimento. Todas as caixas foram preenchidas em toda a altura, exceto as que seriam utilizadas para simulação de cura com dique de água, que foram preenchidas até a altura dos tubos de PVC nelas fixados. O peso excessivo das caixas demandou a contratação de mão de obra externa e apoio do laboratorista da filial, além dos alunos participantes deste

estudo. Foram concretadas 4 caixas por classe de concreto, totalizando 12 caixas, que permaneceram em ambiente aberto e protegidas de intempéries por 28 dias. As fotos 2 a 16 mostram a sequencia acima descrita.

	
Foto 2. Central dosadora de Concreto	Foto 3. Carregamento do caminhão betoneira
	
Foto 4. Coleta de material para certificação da classe de abatimento	Foto 5. Ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test)
	
Foto 6. Separação de material para moldagem dos corpos de prova e preenchimento das caixas	Foto 7. Abatimento concreto classe C25 - 150mm



Foto 8. Abatimento concreto classe C30 – 120mm



Foto 9. Abatimento concreto classe C35 – 145mm

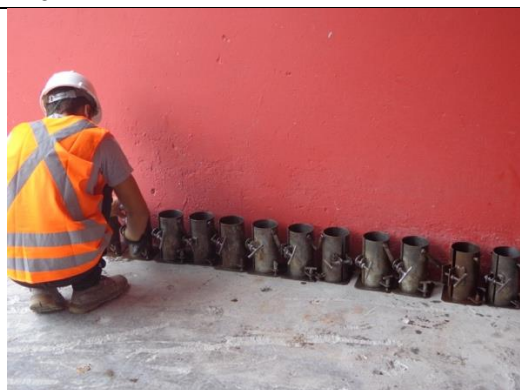


Foto 10. Preparação dos moldes cilíndricos para moldagem dos corpos de prova padrão

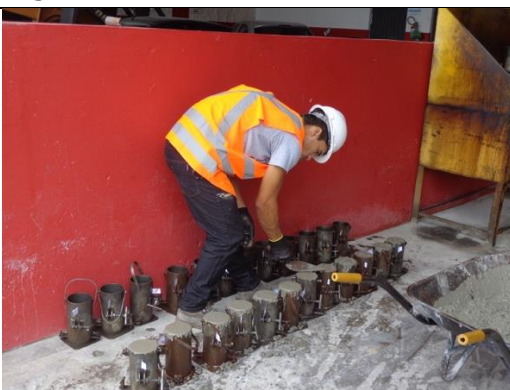


Foto 11. Moldagem dos corpos de prova padrão



Foto 12. Medição da temperatura do concreto



Foto 13. Agitador de peneiras utilizado para o adensamento do concreto das caixas de madeira

	
Fotos 14a e 14b. Prenchimentos das caixas de madeira	
	
Foto 14. Preparação para o adensamento do concreto das caixas de madeira	Foto 15. Adensamento do concreto das caixas de madeira em base vibratória de peneiras

3.2.3. Procedimentos de cura

Os procedimentos de cura do concreto das caixas foram iniciados logo após o adensamento. Para cada uma das 4 caixas, um tipo de cura foi aplicado: cura por imersão, cura ao ar, cura química base de parafina (PA) e cura química base poliacetato de vinila (PVA),

O fracionamento do material para cura química foi realizado com auxílio de um copo dosador, para obtenção das condições de consumo

recomendadas pelo fabricante: 200 a 600 ml por m² para a base parafina e 400 a 600 ml por m² para base PVA.

A aplicação dos agentes de cura química foi realizada com o auxílio de um borrifador de água, estando o concreto nas condições descritas como ideais pelo fabricante do produto: *“CURA-TEC deve ser agitado antes de ser usado e sua aplicação deve ser feita por meio de um pulverizador de baixa pressão sobre a superfície do concreto fresco, logo após o desaparecimento da água de exsudação (aparência fosca). A camada deverá ser uniforme e somente o necessário para torná-la esbranquiçada”*.

As caixas destinadas a cura por imersão foram cobertas por plástico filme nas primeiras 24 horas após a concretagem, buscando evitar a perda da água por evaporação, sendo na sequência iniciada a cura com água. Com uma mangueira as caixas tiveram sua superfície preenchida até o limite de sua altura, resultando em uma lâmina de água de aproximadamente 5cm sobre o concreto.

Uma caixa de cada classe de concreto foi separada para cura ao ar. As fotos a seguir ilustram os procedimentos acima descritos.



Foto 16. Agentes de cura química aplicados



Foto 17. Dosagem dos agentes de cura química

	
Foto 18. Detalhe da caixa com concreto curado sob lâmina de água protegido por plástico filme nas primeiras 24 horas	Foto 19. Detalhe da caixa com concreto curado sob lâmina de água (dique)
	
Foto 20. Detalhe da caixa com concreto curado ao ar	Foto 21. Detalhe da caixa com concreto com aplicação de agente de cura PA

Os corpos de prova padrão foram desformados 24 horas após as moldagens. Até a desforma, os topos dos corpos de prova foram mantidos nas condições requeridas para o ensaio, similares as que foram submetidas as caixas de madeira. Após a deforma, todos o exemplares foram submetidos a processos de cura. Para cada classe de concreto, 2 corpos de prova receberam cura em tanque de imersão, 2 corpos de prova foram curados ao ar, 2 corpos de prova receberam cura química base de parafina (PA) e 2 corpos de prova receberam cura química base poliacetato de vinila (PVA). Após a desmoldaegm, os corpos de prova curados com agentes químicos receberam uma aplicação do produto em todas as suas faces. As fotos 23 a 28 ilustram os procedimentos acima descritos.



Foto 22. Detalhe dos tops dos corpos de prova curados com agente químico nas primeiras 24 horas



Foto 23. Detalhe dos corpos de prova curados com agente químico base PVA



Foto 24. Detalhe dos corpos de prova curados com agente químico base PA



Foto 25. Detalhe dos tops dos corpos de prova para cura em tanque de imersão nas primeiras 24 horas



Foto 26. Corpos de prova curados em tanque de imersão



Foto 27. Detalhe dos tops dos corpos de prova para cura ao ar nas primeiras 24 horas

Os gráficos 3 e 4 encontrados no anexo 1, apresentam, respectivamente, os registros de temperatura e umidade relativa do ar na cidade de Florianópolis/SC, durante o processo de cura dos exemplares.

3.2.4. Procedimentos de extração dos testemunhos e corpos de prova encamisados

Para a realização do rompimento dos corpos de prova e testemunhos de estrutura aos 28 dias de idade, as extrações foram realizadas aos 25 dias, permitindo que os exemplares pudessem permanecer em ambiente de laboratório por 72 horas.

As caixas foram devidamente marcadas para que os espaçamentos mínimos requeridos por norma fossem respeitados e para assegurar a integridade das amostras. Inicialmente foram extraídos os testemunhos com o uso de uma extratora e na sequência, com o uso de um rompedor, foram liberados os tubos de PVC que encamisavam os corpos de prova. Uma serra circular foi utilizada para cortar o tubo de PVC e liberar os corpos de prova, sendo retirados sem impactos que pudessem danificá-los. As fotos 29 a 33 mostram os procedimentos acima descritos.



Foto 28. Marcação das caixas para extração dos testemunhos e corpos de prova encamisados



Foto 29. Extração dos testemunhos de concreto



Foto 30. Detalhe das caixas após extração dos testemunhos de concreto



Foto 31. Retirada dos corpos de prova encamisados das caixas



Foto 32. Corpos de prova e testemunhos em cura no ambiente de laboratório, após extração

3.2.5. Preparação e rompimento dos corpos de prova

Os corpos de prova padrão e encamisados e os testemunhos extraídos tiveram os topos retificados em equipamento adequado para este fim. Na sequência, foram realizadas as medições de altura, diâmetro e peso dos exemplares. Esse processo pode ser visto nas fotos 34 a 39. Na sequência foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, conforme NBR 5739:2007, em estado seco (umidade de equilíbrio), com exceção dos corpos de prova submetidos a cura normal em tanque de imersão, que ali permaneceram até o momento do ensaio. Os ensaios foram realizados aos 28 dias.

	
Foto 33. Preparação dos topos dos corpos de prova e testemunhos com o uso de retifica	Foto 34. Detalhe – topo do corpo de prova retificado
	
Foto 35. Determinação do diâmetro dos exemplares	Foto 36. Determinação da altura dos exemplares



Foto 37. Pesagem dos exemplares



Foto 38. Retífica e Prensa Elétrica utilizadas nos ensaios

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como descrito no capítulo anterior, os corpos de prova e testemunhos extraídos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, conforme NBR 5739:2007, em estado seco (umidade de equilíbrio), com exceção dos corpos de prova submetidos a cura normal em tanque de imersão. Os resultados obtidos serão apresentados ao longo deste capítulo.

Foi considerado nas análises dos resultados o que recomenda o item 6.2.2 da NBR 12655:2015 “Toma-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão”. Quanto a classe de concreto, consideramos nas análises os resultados obtidos para o concreto classe C25 e C30, em decorrência da similaridade dos traços classe C30 e C35, e pelos melhores resultados apresentados pelos exemplares da classe C30.

4.1. Apresentação dos resultados

As tabelas 14, 15 e 16 apresentam os valores obtidos nos ensaios aos 28 dias, realizados nos exemplares produzidos neste estudo.

C25	Cura química PVA	Cura química PA	Cura ao Ar	Cura em Água
Tipo	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
Padrão	31,9	25,7	31,1	30,8
Padrão	36,9	26,2	35,5	28,5
Extraído	29,8	28,1	25,4	28,7
Extraído	35,1	27,7	28,4	24,4
Extraído	34,1	28,9	28,3	34,1
PVC	31,0	26,5	24,9	30,9
PVC	31,2	26,0	27,3	28,0
PVC	30,4	20,6	17,5	18,8

Tabela 14 - Resistência à compressão - C25

C30	Cura química PVA	Cura química PA	Cura ao Ar	Cura em Água
Tipo	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
Padrão	40,4	41,3	41,6	39,5
Padrão	41,3	38,8	42,5	37,7
Extraído	34,4	38,2	34,5	39,0
Extraído	37,6	38,0	35,2	39,4
Extraído	37,9	38,4	35,4	40,3
PVC	34,6	39,5	37,9	20,7
PVC	40,3	41,6	38,6	38,0
PVC	44,1	41,5	35,4	29,3

Tabela 15 - Resistência à compressão – C30

C35	Cura química PVA	Cura química PA	Cura ao Ar	Cura em Água
Tipo	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
Padrão	36,3	37,2	37,6	23,7
Padrão	33,1	31,1	39,3	33,2
Extraído	38,7	34,6	37,5	32,5
Extraído	35,0	33,9	35,6	30,1
Extraído	35,0	28,1	36,9	32,2
PVC	35,5	31,8	31,6	30,8
PVC	32,6	38,1	27,2	32,7
PVC	34,9	26,9	25,0	19,1

Tabela 16 - Resistência à compressão – C35

4.2. Análise dos resultados

Os resultados foram compilados e separados conforme as classes de resistência, tipos de cura e tipos de adensamento e obtenção dos exemplares. Com isso fez-se as análises minuciosas, apresentadas nos tópicos a seguir. Ressalta-se que os resultados apresentados limitam-se aos exemplares produzidos para este estudo, realizado na cidade de Florianópolis/SC, e submetidos aos procedimentos descritos no item 3.2.

4.2.1. Análise quanto ao tipo de cura

Quanto ao tipo de cura a que foram submetidas as amostras, foram obtidos os seguintes resultados.

4.2.1.1. Concreto Classe C25

O gráfico 5 apresenta os resultados de resistência à compressão para as amostras de concreto classe C25 submetidas a diferentes tipos de cura e adensamento. Serão analisados neste subitem apenas o que é relacionado a cura das amostras, para um mesmo tipo de adensamento. Para esta análise, os valores de resistência à compressão utilizados para os testemunhos extraídos foram corrigidos conforme os coeficientes estabelecidos pela NBR 7680-1:2015.

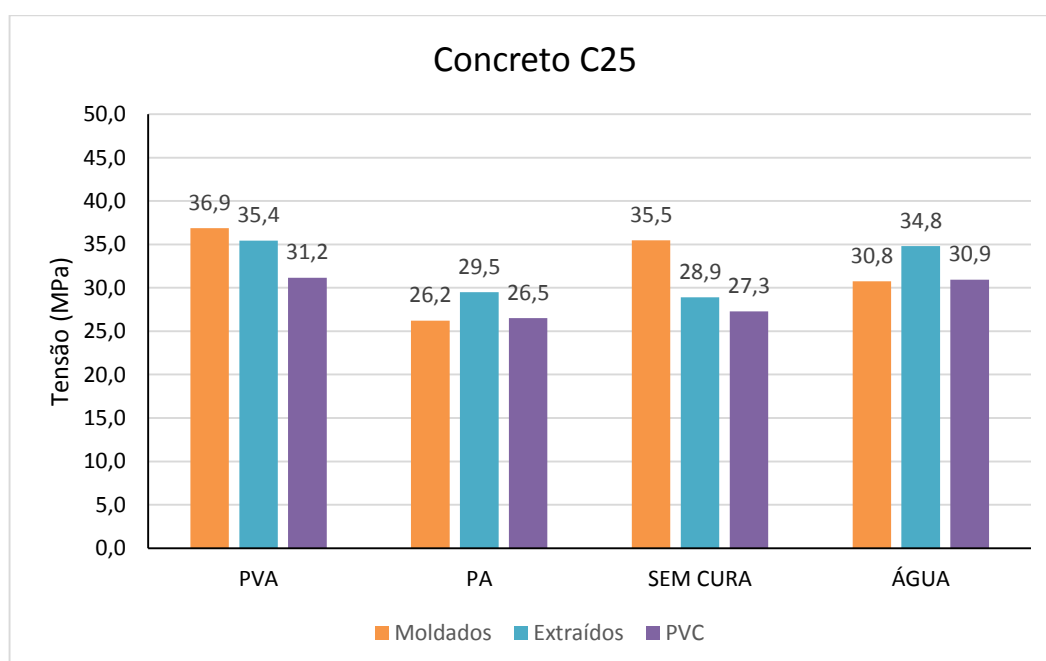


Gráfico 5 - Resistência à Compressão – Concreto C25

Desempenho dos tipos de cura nos corpos de prova padrão

Para os corpos de prova padrão conforme NBR 5738:2015, o procedimento de cura que apresentou maior eficiência foi o agente de cura base PVA. O segundo maior resultado foi obtido no corpo de prova curado ao ar, que obteve uma resistência maior que o corpo de prova submetido ao mesmo tipo de

adensamento e curado em tanque de imersão. Como já descrito por de Souza (2006), a menor resistência do concreto saturado é provavelmente devida à existência de uma pressão de água nos poros capilares da pasta, no momento do ensaio de ruptura. METHA e MONTEIRO (1994) descreve que em corpos de prova secos ao ar no momento do ensaio, os resultados de ensaios à compressão apresentam um incremento de 20 a 25% em relação ao dos corpos de prova correspondentes ensaiados em condição saturada. Neste estudo o incremento de resistência foi de 15,3%. O agente de cura base PA se mostrou menos eficiente quanto ao ganho de resistência à compressão.

A tabela 17 traz os resultados obtidos e o comparativo de desempenho entre os tipos de cura, tendo como referência os corpos de prova curados em tanque de imersão, conforme recomenda a NBR 5738:2015.

Tipo de Cura	Classe C25	
	Tensão (MPa)	% sobre cura em água
PVA	36,9	19,8%
PA	26,2	-14,9%
Cura ao ar	35,5	15,3%
Água	30,8	referência

Tabela 17 - Resultados de ensaio C25 – Tipos de cura em corpos de prova padrão

Desempenho dos tipos de cura nos testemunhos extraídos

Para os testemunhos extraídos conforme NBR 7680-1:2015, o melhor resultado foi obtido no testemunho submetido ao agente de cura PVA, seguido pelo testemunho submetido a cura em água. A lâmina de água utilizada se mostrou eficiente para o processo de cura porém não foi suficiente para que o testemunho apresentasse saturação equivalente ao corpo de prova imerso em tanque. Somado ao fato da ruptura em estado de equilíbrio, resultou em uma resistência superior ao testemunho curado ao ar. Os testemunhos curados com

agente base PA e curado ao ar apresentaram os menores resultados. Os resultados comparativos são apresentados na tabela 18.

Tipo de Cura	Classe C25	
	Tensão (MPa)	% sobre cura em água
PVA	35,4	1,7%
PA	29,5	-15,2%
Cura ao ar	28,9	-17,0%
Água	34,8	referência

Tabela 18 - Resultados de ensaio C25 – Cura em testemunhos extraídos

Desempenho dos tipos de cura nos corpos de prova encamisados em tubo de PVC

Os corpos de prova encamisados em tubos de PVC apresentaram um comportamento semelhante aos testemunhos extraídos, possivelmente por terem sido submetidos aos processos de cura e adensamento em iguais intensidades e condições. Assim, nos testemunhos extraídos e corpos de prova encamisados, a cura utilizando agente base PVA e a cura por imersão mostraram-se mais eficientes. Os resultados são apresentados na tabela 19.

Tipo de Cura	Classe C25	
	Tensão (MPa)	% sobre cura em água
PVA	31,2	1,0%
PA	26,5	-14,2%
Cura ao ar	27,3	-11,7%
Água	30,9	referência

Tabela 19 - Resultados de ensaio C25 – Cura em corpos de prova encamisados em tubo PVC

4.2.1.2. Concreto Classe C30

O gráfico 6 apresenta os resultados de resistência à compressão para as amostras de concreto classe C30 submetidas a diferentes tipos de cura e adensamento. Serão analisados neste subitem apenas o que é relacionado à cura das amostras, para um mesmo tipo de adensamento. Para esta análise, os valores de resistência à compressão utilizados para os testemunhos extraídos foram corrigidos conforme os coeficientes estabelecidos pela NBR 7680-1:2015.

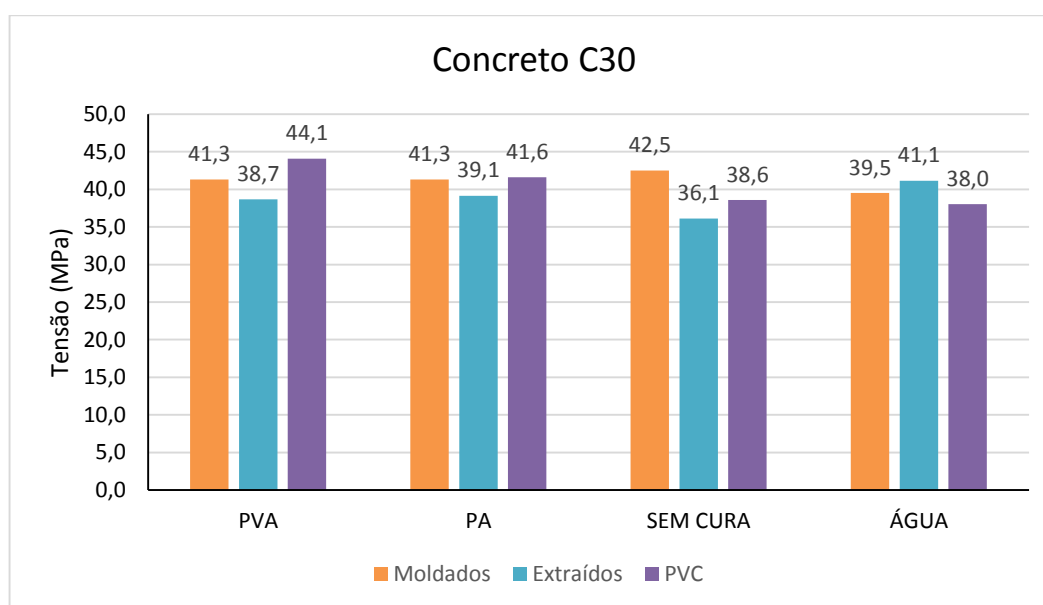


Gráfico 6 - Resistência à Compressão – Concreto C30

Desempenho dos tipos de cura nos corpos de prova padrão

Para os corpos de prova padrão, o corpo de prova curado ao ar obteve o melhor resultado de resistência à compressão. Os agentes de cura foram igualmente eficientes, ficando a cura por imersão com o menor resultado, trazendo novamente a constatação da diminuição da resistência à compressão dos corpos de prova quando rompidos em condição de saturação. A tabela 20 traz os

resultados obtidos e o comparativo de desempenho entre os tipos de cura, tendo como referência os corpos de prova curados em tanque de imersão.

Tipo de Cura	Classe C30	
	Tensão (MPa)	% sobre cura em água
PVA	41,3	4,6%
PA	41,3	4,6%
Cura ao ar	42,5	7,6%
Água	39,5	referência

Tabela 20 - Resultados de ensaio C30 – Tipos de cura em corpos de prova padrão

Desempenho dos tipos de cura nos testemunhos extraídos

Repete-se aqui o melhor desempenho do testemunho curado em água em relação ao testemunho curado ao ar. Também repete-se a similaridade do desempenho dos agentes de cura aplicados, porém neste caso, ambos apresentam resultados inferiores ao obtido no testemunho curado em água. A tabela 18 apresenta os resultados.

Tipo de Cura	Classe C30	
	Tensão (MPa)	% sobre cura em água
PVA	38,7	-5,8%
PA	39,1	-4,9%
Cura ao ar	36,1	-12,2%
Água	41,1	referência

Tabela 21- Resultados de ensaio C30 – Cura em testemunhos extraídos

Desempenho dos tipos de cura nos corpos de prova encamisados em tubo de PVC

A cura com agente químico base PVA obteve o melhor desempenho, seguido da cura com agente químico base PA. Os corpos de prova curados em água e curados ao ar obtiveram os menores resultados de resistência à compressão. Os resultados são apresentados na tabela 22.

Tipo de Cura	Classe C30	
	Tensão (MPa)	% sobre cura em água
PVA	44,1	16,1%
PA	41,6	9,5%
Cura ao ar	38,6	1,6%
Água	38,0	referência

Tabela 22 - Resultados de ensaio C30 – Cura em corpos de prova encamisados em tubo PVC

4.2.2. Análise comparativa entre as classes de concreto, para um mesmo procedimento de cura e diferentes formas de obtenção

Neste estudo os resultados dos corpos de prova encamisados em PVC serão citados, porém serão desconsiderados para efeito de análise devido ao método de adensamento ter influenciado nos resultados.

Segundo Vieira 2007, a resistência dos testemunhos representa a resistência do concreto na estrutura, onde $f_c(m)$ é a resistência de corpos de prova padrão denominada potencial e $f_c(e)$ é a resistência do testemunho extraído denominada efetiva, portanto a relação $R(m/e) = f_c(m) / f_c(e)$, corresponde a parcela γ_c2 do coeficiente normativo de ponderação de resistência do concreto γ_c , onde γ_c2 deve ser multiplicado pela resistência dos testemunhos nas avaliações estruturais para correção devido aos danos causados pela extração de testemunhos.

Assim, para analisar os efeitos deletérios do broqueamento, para os testemunhos extraídos, nos resultados dos gráficos não foi aplicado o que

estabelece a NBR 7680-1:2015 em que emprega-se o coeficiente k_2 de 0,06 para o diâmetro de 100mm.

4.2.2.1. Cura PVA

O gráfico 7 apresenta os resultados de resistência à compressão aos 28 dias utilizando cura química base PVA para as amostras dos concretos classes C25 e C30 com todos os métodos de obtenção, para traçarmos um comparativo dos resultados.

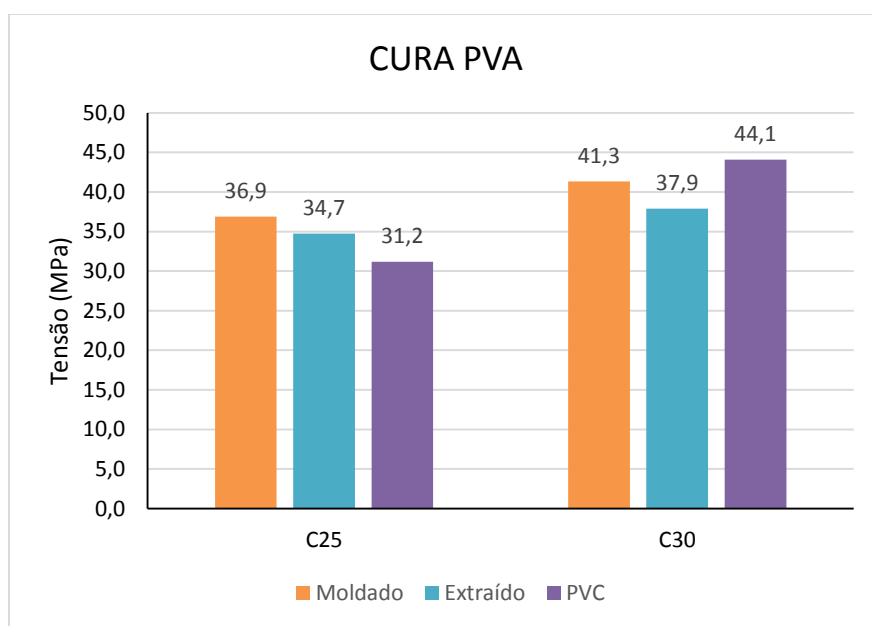


Gráfico 7 - Resistência à Compressão – Cura base PVA

Em ambas as classes quando utilizado agente de cura base PVA os resultados dos ensaios superaram o f_{ck} .

Conforme o gráfico 7 foram obtidos os seguintes resultados:

$$R(m/e) \text{ C25} = 36,9 / 34,7 = 1,06$$

$$R(m/e) \text{ C30} = 41,3 / 37,9 = 1,09$$

Vieira 2007 obteve, para testemunhos e corpos de prova padrão (100x200)mm curados em água, no concreto classe C20 valor do $R(m/e) = 1,11$.

4.2.2.2. Cura PA

O gráfico 8 apresenta os resultados de resistência à compressão aos 28 dias utilizando cura química base PA para as amostras dos concretos classes C25 e C30 com todos os métodos de obtenção, para traçarmos um comparativo dos resultados.

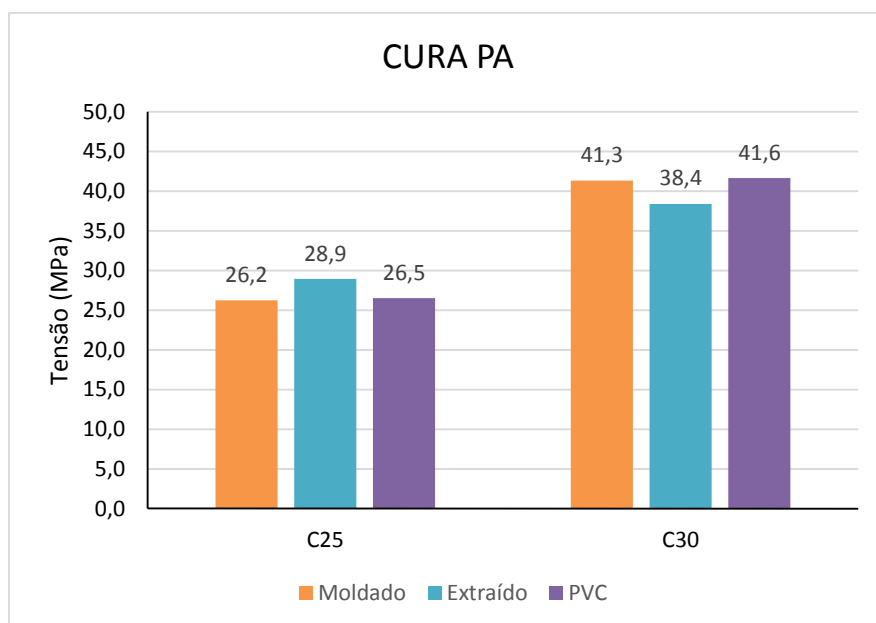


Gráfico 8 - Resistência à Compressão – Cura base PA

Em ambas as classes, quando utilizado agente de cura PA os resultados dos ensaios superaram o f_{ck} .

Conforme o gráfico 8 foram obtidos os seguintes resultados:

$$R(m/e) \text{ C25} = 26,2 / 28,9 = 0,90$$

$$R(m/e) \text{ C30} = 41,3 / 38,4 = 1,07$$

Vieira 2007 obteve, para testemunhos e corpos de prova padrão (100x200)mm curados em água, no concreto classe C20 valor do $R(m/e) = 1,11$.

4.2.2.3. Cura ao ar

O gráfico 9 apresenta os resultados de resistência à compressão aos 28 dias utilizando cura ao ar para as amostras dos concretos classes C25 e C30 com todos os métodos de obtenção, para traçarmos um comparativo dos resultados.

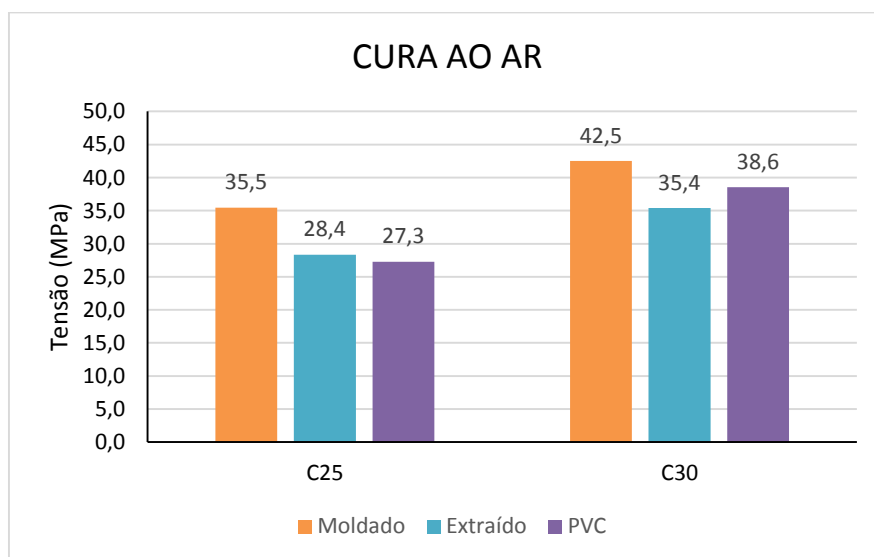


Gráfico 9 - Resistência à Compressão – Cura ao Ar

Em ambas as classes adotando a cura ao ar, os resultados dos ensaios superaram o f_{ck} .

Conforme o gráfico 9 foram obtidos os seguintes resultados:

$$R(m/e) \text{ C25} = 35,5 / 28,4 = 1,25$$

$$R(m/e) \text{ C30} = 42,5 / 35,4 = 1,20$$

Vieira 2007 obteve, para testemunhos e corpos de prova 100x200mm curados ao ar, no concreto classe C20 $R(m/e) = 1,14$. Para o concreto classe C65 obteve $R(m/e) = 1,18$.

4.2.2.4. Cura em água

O gráfico 10 apresenta os resultados de resistência à compressão aos 28 dias utilizando cura em água para as amostras dos concretos classes C25 e C30 com todos os métodos de obtenção, para traçarmos um comparativo dos resultados.

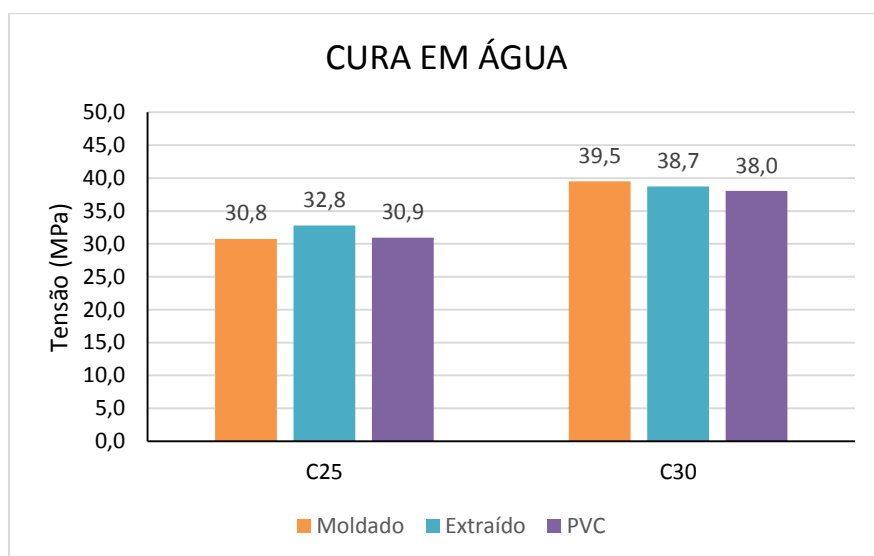


Gráfico 10 - Resistência à Compressão – Cura PVA

Em ambas as classes utilizando a cura em água os resultados dos ensaios superaram o f_{ck} .

O corpo de prova padrão ficou imerso conforme recomendado pela NBR 5738:2015. Para a realização da cura úmida nos testemunhos, sobre o

concreto formou-se uma lâmina d'água simulando um dique durante o período de cura e aos 25 dias foram extraídos e mantidos expostos ao ar em ambiente de laboratório por 72 hs obedecendo aos critérios da NBR 5738:2015, e ensaiados no estado de equilíbrio. Assim foi aplicado $k_4 = - 0,04$ para correção da umidade.

Conforme o gráfico 10 foram obtidos os seguintes resultados:

$$R(m/e) \text{ C25} = 30,8 / 32,8 = 0,93$$

$$R(m/e) \text{ C30} = 39,5 / 38,7 = 1,02$$

Vieira 2007 obteve, para testemunhos e corpos de prova (100x200)mm curados em água, no concreto classe C20 valor do $R(m/e) = 1,11$. Para o concreto classe C70 obteve $R(m/e) = 1,04$.

4.2.3. Análise quanto ao procedimento de adensamento

Para esta análise, os valores de resistência à compressão utilizados para os testemunhos extraídos foram corrigidos conforme os coeficientes estabelecidos pela NBR 7680-1:2015.

Os gráficos 11 e 12 apresentam os resultados de resistência à compressão para as amostras de concreto classe C25 e C30 submetidas à diferentes tipos adensamento.

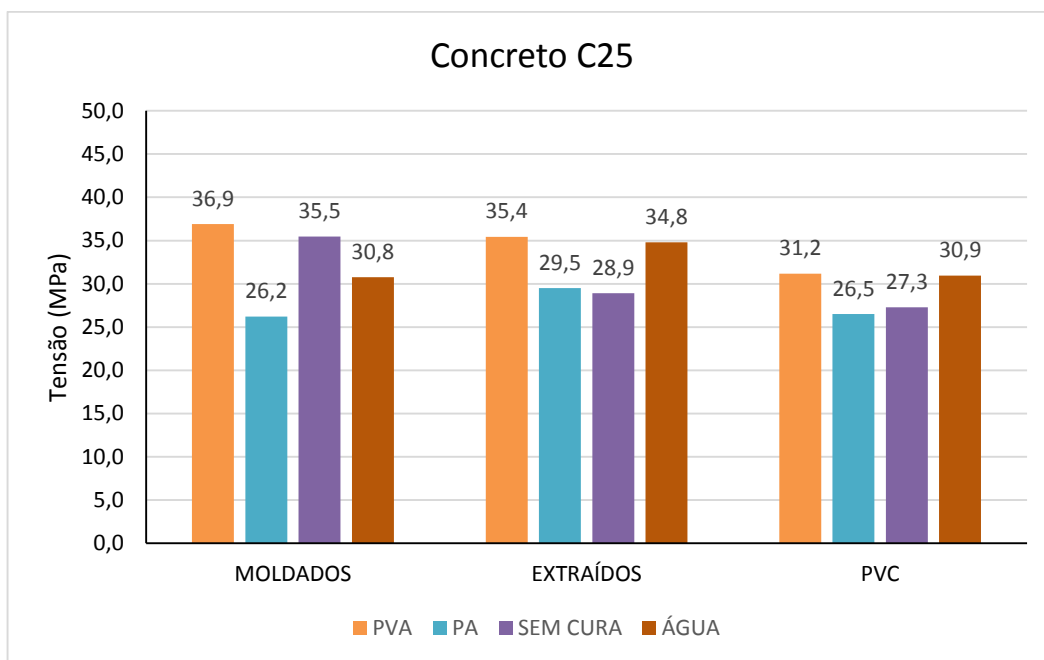


Gráfico 11 - Concreto Classe C25 - Adensamento

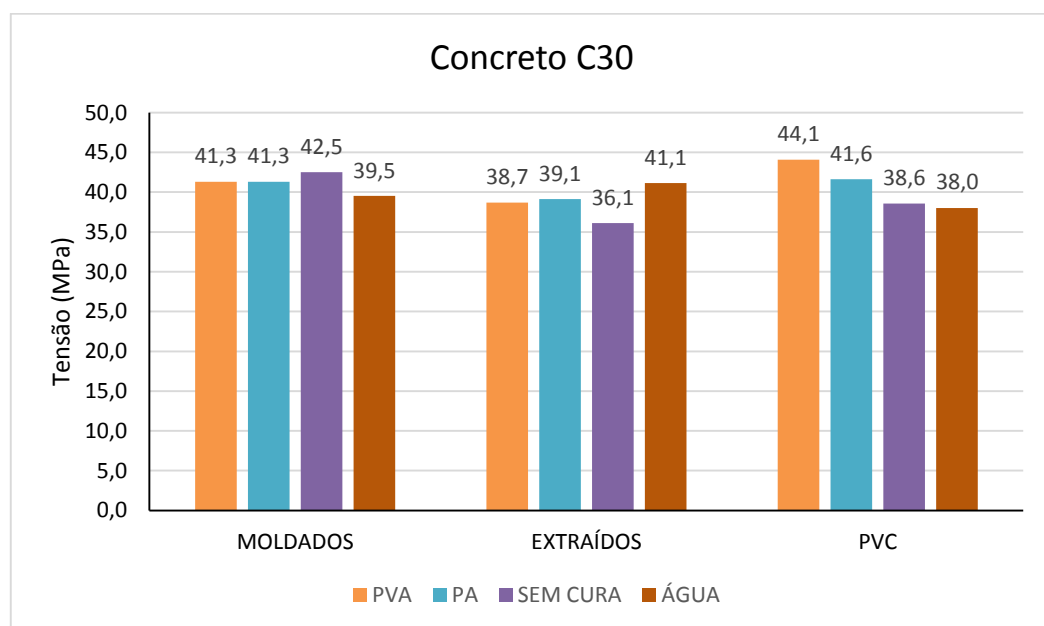


Gráfico 12 – Concreto Classe C30 - Adensamento

4.2.3.1. Procedimento de adensamento

Quando da obtenção e análise dos primeiros resultados de ensaio à compressão simples, notou-se uma diferença relevante entre os valores de resistência apresentados pelos corpos de prova padrão em relação aos exemplares obtidos através das caixas de madeira, adensados em mesa vibratória.

Como não foram realizados ensaios prévios para verificação do desempenho do adensamento realizado em mesa vibratória, a primeira hipótese levantada estava relacionada a possibilidade de segregação do concreto, seguida pela incapacidade de expulsão do ar incorporado na massa durante o lançamento do concreto nas caixas.

A análise visual dos exemplares nas três classes estudadas nos permitiu descartar a possibilidade de segregação e trouxe a necessidade da verificação da permanência do ar incorporado no lançamento do concreto.

As fotos 40 e 41 mostram um exemplar da classe C30 submetido ao processo de extração, após regularização dos topos e rompimento. É possível observar que não há efeito de segregação quando do adensamento em mesa vibratória, porém observa-se um grande número de vazios, sugerindo a ineficiência do adensamento. As fotos 42 e 43 mostram a diferença do resultado de um mesmo adensamento (mesa vibratória) em diferentes volumes de concreto. O concreto confinado em tubo PVC sofreu menor efeito da vibração.



Foto 39. Testemunho classe C30 curado em água, após preparação das faces



Foto 41. Testemunho classe C30 curado em água rompido à compressão



Foto 42. Testemunho classe C25 curado ao ar, após preparação das faces



Foto 43. Corpo de prova encamisado classe C35 curado ao ar

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresenta-se as considerações finais deste trabalho, bem como as sugestões para novos estudos na área.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificada a eficiência da cura química nos ensaios de resistência à compressão, recomenda-se a utilização dos agentes de cura química em substituição da água, como uso racional deste recurso. A diminuição do uso de água pode se tornar um item com relevância na composição dos custos nas obras.

Quando analisados os resultados obtidos considerando o tipo de adensamento a que foram submetidos os exemplares, verificamos possível ineficiência do adensamento realizado pela mesa vibratória. O aspecto geral dos corpos de prova encamisados e testemunhos extraídos evidencia a presença de bolhas de ar e imperfeições no concreto, possivelmente não eliminadas devido a falta de adensamento – tempo e intensidade. Ainda sobre o adensamento do concreto das caixas, observamos que o concreto confinado em tubo de PVC sofreu menor influência da vibração.

Sobre o efeito do broqueamento, quando da extração de testemunhos das placas de concreto, o estudo propôs observar o fenômeno físico a partir de amostras igualmente adensadas. Neste estudo, os corpos de prova encamisados obtiveram resultados de resistência a compressão simples inferiores aos dos testemunhos extraídos, o que leva o efeito do broqueamento a uma condição de menor influência nos resultados em relação a condição de adensamento.

No estudo realizado nos concretos classes C25 e C30 quando utilizado o procedimento de cura química e cura em água, os resultados do $R(m/e)$ ficaram

inferiores aos encontrados por Vieira 2007 e do CEB (Comitê Europeu do Concreto) que cita o valor de 1,10, porém, mais próximos do ACI 214 4R-2003 que indica o coeficiente de 1,06. De qualquer forma comprova os efeitos deletérios do broqueamento na obtenção de testemunhos extraídos ocasionados por microfissuras no momento da sua obtenção.

Quando realizado cura ao ar o R(m/e) ficou superior ao encontrado por Vieira (2007). Isso pode-se dar ao fato de que a caixa de madeira possui uma grande superfície exposta, contribuindo para perda de água mais significativa em relação ao corpo de prova padrão afetando a resistência do testemunho extraído.

Sobre a eficiência da cura química, os exemplares curados com agente base PVA obtiveram maiores resultados de resistência à compressão comparados aos exemplares curados com agente base PA.

Nos testemunhos obtidos das placas de concreto, foi possível comprovar maior eficiência no ganho de resistência à compressão no concreto classe C25 quando aplicado agente de cura química base PVA. No concreto classe C30, os testemunhos curados em água tiveram um maior ganho de resistência à compressão, evidenciando que em concretos com mesma relação água/cimento podemos obter diferentes comportamento em relação ao desempenho do procedimento de cura.

Quando rompidos em iguais condições de umidade, os exemplares curados ao ar apresentaram resistência à compressão inferiores aos exemplares curados em água, possivelmente ocasionado pela perda precoce de água e não hidratação dos grãos de cimento.

Sobre a utilização de cura química, não foi verificado comprometimento no ganho de resistência à compressão do concreto nas classes estudadas. De modo geral, no concreto classe C25 o agente de cura base PVA obteve os melhores resultados de resistência à compressão e no concreto classe C30 ambos os agentes de cura apresentaram resultados satisfatórios (fck), tendo

em média uma diferença de apenas 5% em relação aos exemplares curados em água.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para os trabalhos futuros, recomendamos observar:

- Estudo prévio das condições de adensamento do concreto com o uso de base vibratória, considerando tempo e qualidade do adensamento final;

- Certificação da altura das caixas, considerando a retração por secagem do concreto;

- Vedação das caixas de madeira, a fim de assegurar a permanência do dique de água sobre o concreto aplicado nas caixas e evitar a perda de água para as paredes e fundo das caixas;

- Quantidade de exemplares produzidos para uma maior confiabilidade dos resultados obtidos;

- Pesagem hidrostática dos exemplares para verificação dos vazios;

- Considerar as situações equivalentes de umidade dos corpos de prova para realização dos ensaios de resistência à compressão;

- Pesagem dos exemplares curados com agentes de cura química para verificação da eficiência da película.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: Pini, 2000

ALMEIDA, L. C. **Concreto**: Estruturas IV-Concreto armado. ago. de 2002. 24 f. Notas de Aula.

ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN, B. F. Resistência mecânica do concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, 2011. P. 615-651.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 214.4R-10: Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results. Farmington Hills: ACI, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739**: Concreto: Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7680-1**: Concreto: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland: Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 67: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. P. 185-231.

CREMONINI, R. A.; HELELE, P. Boletim Técnico. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1994. ISSN 0103-9830

CAMARINI, G. **Desempenho de misturas de cimento Portland e escória de alto-forno submetidas à cura térmica.** São Paulo: EPUSP, 1955.

CINTRA, et al. **Estudo de procedimentos de adensamento do concreto por vibradores de imersão em obras na Grande Vitória – ES.** Gramado, out. 13. 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Disponível em: <<https://lemacufes.files.wordpress.com/2012/03/estudo-de-procedimentos-de-adensamento-do-concreto-por-vibradores-de-imersc3a3o-em-obras-na-grande-vitc3b3ria-es.pdf>>. Acesso em: ago. 2017.

DE SOUZA, G. G. **Influência dos procedimentos de ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos no controle de qualidade do concreto.** 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GEYER, A. L. B.; de SÁ, R. R. **Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco.** Informativo técnico, 2006. Disponível em: http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/Ano2_informativo_internet.pdf. Acesso em: 15 mar. 2017.

GRACE, RHEOSET. Catálogo técnico de produtos. Disponível em: <https://gcpat-tools.com/construction/pt-br/Documents/CuraTec_BR_2014.pdf>. Acesso em: 1. Out. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA – INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php>. Acesso em: Jan 2018.

ISAIA, G. C. A água no concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. P. 311-345.

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

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

PECCHIO, M. Tecnologia do cimento Portland. ago. de 2016. Notas de Aula. IDD. Florianópolis – SC.

PEINADO, S. P. **Conheça as alternativas para fazer a cura de elementos de concreto:** Revista Técnica, 2013. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/201/conheca-as-alternativas-para-fazer-a-cura-de-elementos-de-302570-1.aspx>>. Acesso em: 1 nov. 2016.

RODRIGUES, P. P. **Manual de pisos industriais: Fibras de aço e protendido.** São Paulo: Pini, 2010.

ROMANO, R. C. de O.; CARDOSO, F. A.; PILLEGI, R. G. Propriedades do concreto no estado fresco. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. P. 453-499.

SBRIGH NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In: _____. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. P. 233-259.

SHEHATA, L. C. D. Propriedades elasto-plásticas do concreto . In: _____. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011. P. 653-671.

VIEIRA FILHO, J. O. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: Contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento.** 2007. 217 f. Tese (Doutor em Engenharia civil)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

7. ANEXOS

7.1. REGISTROS DE TEMPERATURA NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS/SC, DURANTE O PROCESSO DE CURA DOS EXEMPLARES

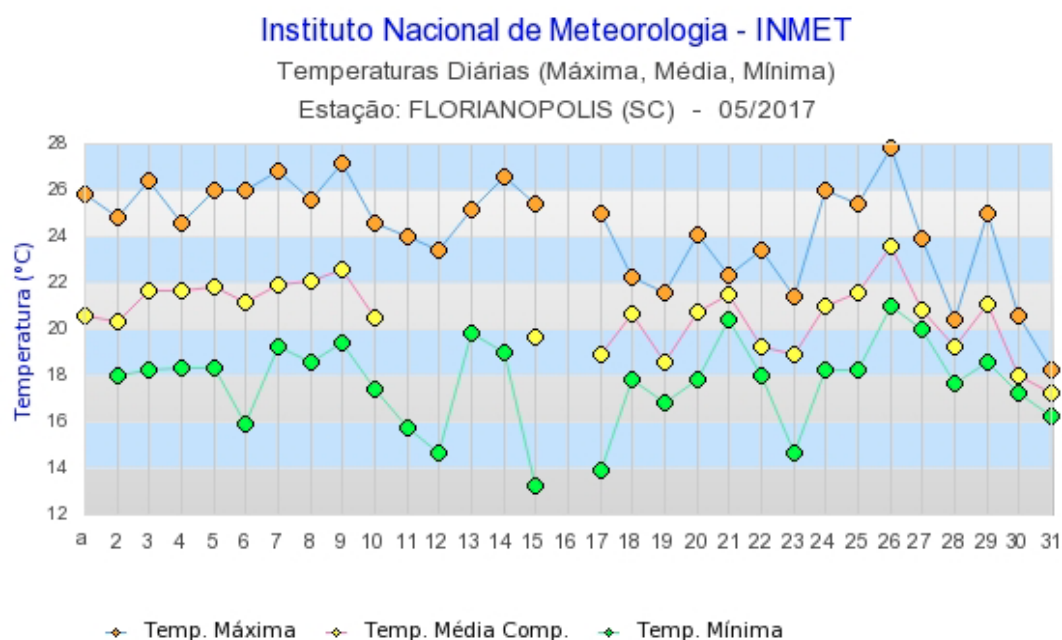


Gráfico 13 - Registros de temperatura em Florianópolis-SC (INMET, 2017)

7.2. REGISTRO DE UMIDADE NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS/SC, DURANTE O PROCESSO DE CURA DOS EXEMPLARES

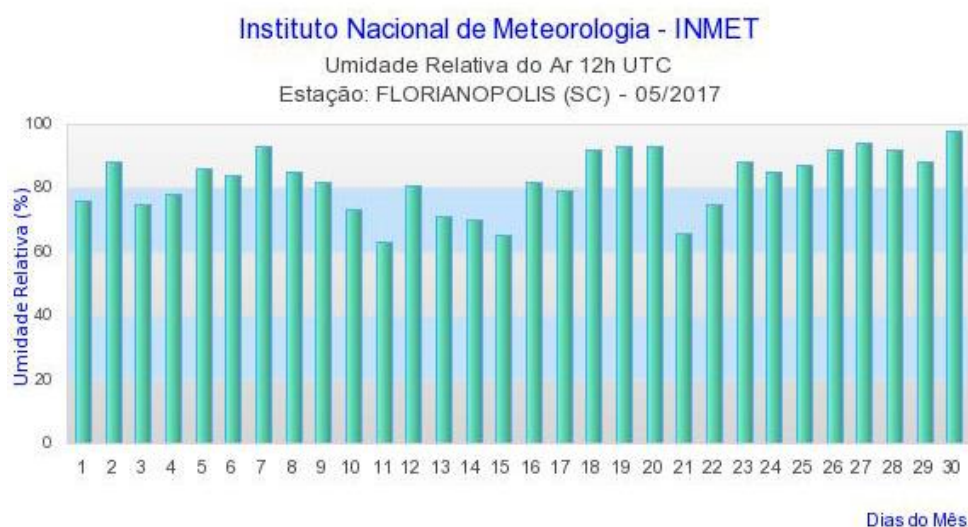


Gráfico 14 - Registros de umidade em Florianópolis-SC (INMET, 2017)

8. APÊNDICES

8.1. CARACTERIZAÇÕES DOS AGREGADOS MIÚDO

AREIA NATURAL					
#	1 - massa retida (g)	2 - massa retida (g)	Soma - massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
9,5	0	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0	0
4,8	0	0	0	0	0
2,4	1,06	0,81	1,87	0,1	0,1
1,2	0,19	0,9	1,09	0,1	0,1
0,6	1,08	0,41	1,49	0,1	0,2
0,3	28,82	29,92	58,74	2,9	3,2
0,15	881,8	882,8	1764,6	88,5	91,7
fundo	82,63	82,61	165,24	8,3	100,0
soma	995,58	997,45	1993,03	100,0	
Módulo de finura:					0,95
Dimensão Máxima Característica:					0,30
Material fino que passa pela peneira 75µm (NM 46):					2,0%

Tabela 23 - Caracterização agregado miúdo – areia natural

AREIA ARTIFICIAL					
#	1 - massa retida (g)	2 - massa retida (g)	Soma - massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
9,5	0	0	0	0,0	0,0
6,3	15,01	13,32	28,33	1,4	1,4
4,8	22,86	28,02	50,88	2,6	4,0
2,4	200,51	190,24	390,75	19,6	23,6
1,2	219,6	221,57	441,17	22,1	45,7
0,6	180,43	179,34	359,77	18,1	63,8
0,3	121,41	125,76	247,17	12,4	76,2
0,15	101,6	106,6	208,2	10,5	86,7
fundo	130,87	134,91	265,78	13,3	100,0
soma	992,29	999,76	1992,05	100,0	
Módulo de finura:					3,00
Dimensão Máxima Característica:					4,80
Material fino que passa pela peneira 75µm (NM 46):					9,8%

Tabela 24 - Caracterização agregado miúdo – areia artificial

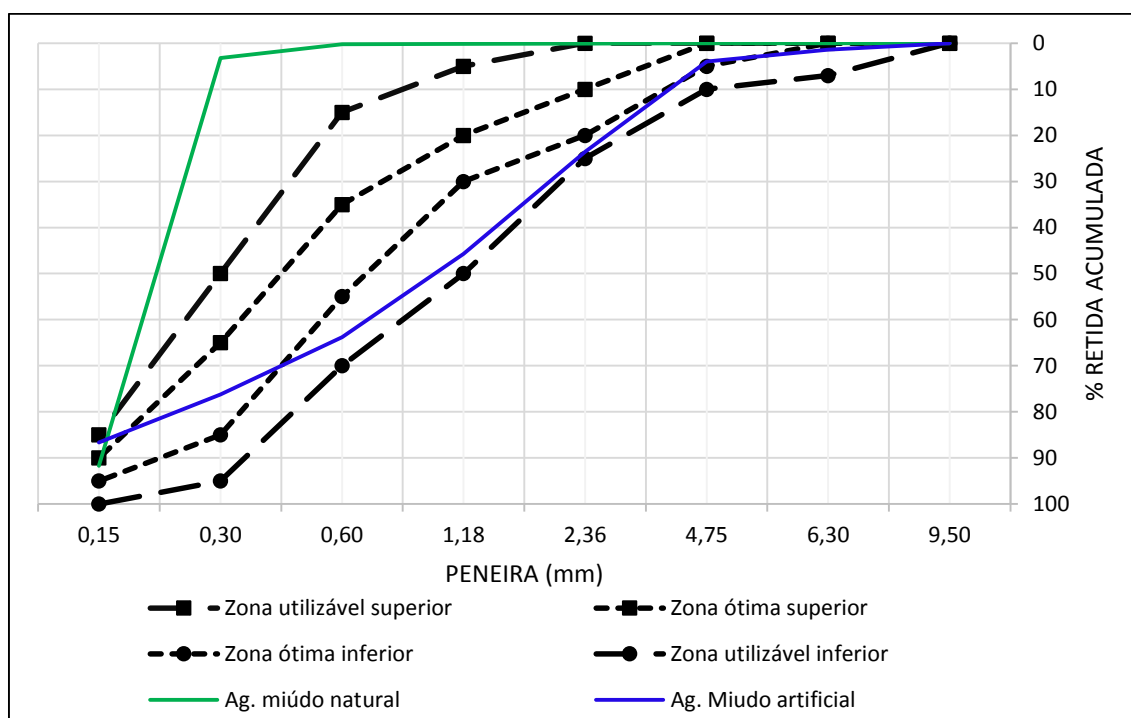


Gráfico 15 - Representação gráfica das composições granulométricas dos agregados miúdos

8.2. CARACTERIZAÇÕES DOS AGREGADOS GRAÚDO

BRITA 0					
#	1 - massa retida (g)	2 - massa retida (g)	Soma - massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
31,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,50	27,0	30,1	57,1	1,1	1,1
9,50	524,8	518,4	1043,2	20,5	21,6
6,30	1258,9	1251,2	2510,1	49,2	70,8
4,75	461,6	472,3	934,0	18,3	89,1
2,36	246,3	252,6	498,9	9,8	98,9
1,18	6,2	5,2	11,4	0,2	99,2
0,60	1,0	0,7	1,6	0,0	99,2
0,30	1,4	1,6	3,0	0,1	99,2
0,15	3,7	3,2	6,9	0,1	99,4
fundo	15,4	16,2	31,6	0,6	100,0
soma	2546,2	2551,5	5097,7	100,0	
Módulo de finura:					6,07
Dimensão Máxima Característica:					12,50
Material fino que passa pela peneira 75µm (NM 46):					-

Tabela 25 - Caracterização do agregado graúdo – Brita 12,50

BRITA 1					
#	1 - massa retida (g)	2 - massa retida (g)	Soma - massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
31,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19,00	726,4	782,9	1509,3	25,1	25,1
12,50	1946,5	1925,2	3871,7	64,5	89,7
9,50	303,5	268,7	572,1	9,5	99,2
6,30	16,9	13,5	30,4	0,5	99,7
4,75	0,7	0,6	1,2	0,0	99,7
2,36	0,6	0,5	1,1	0,0	99,7
1,18	0,5	0,4	1,0	0,0	99,8
0,60	0,6	0,3	0,9	0,0	99,8
0,30	0,6	0,4	1,0	0,0	99,8
0,15	1,3	1,0	2,3	0,0	99,8
fundo	5,9	4,4	10,3	0,2	100,0
soma	3003,4	2997,8	6001,2	100,0	
Módulo de finura:					7,23
Dimensão Máxima Característica:					25,00
Material fino que passa pela peneira 75µm (NM 46):					-

Tabela 26 - Caracterização do agregado graúdo – Brita 25

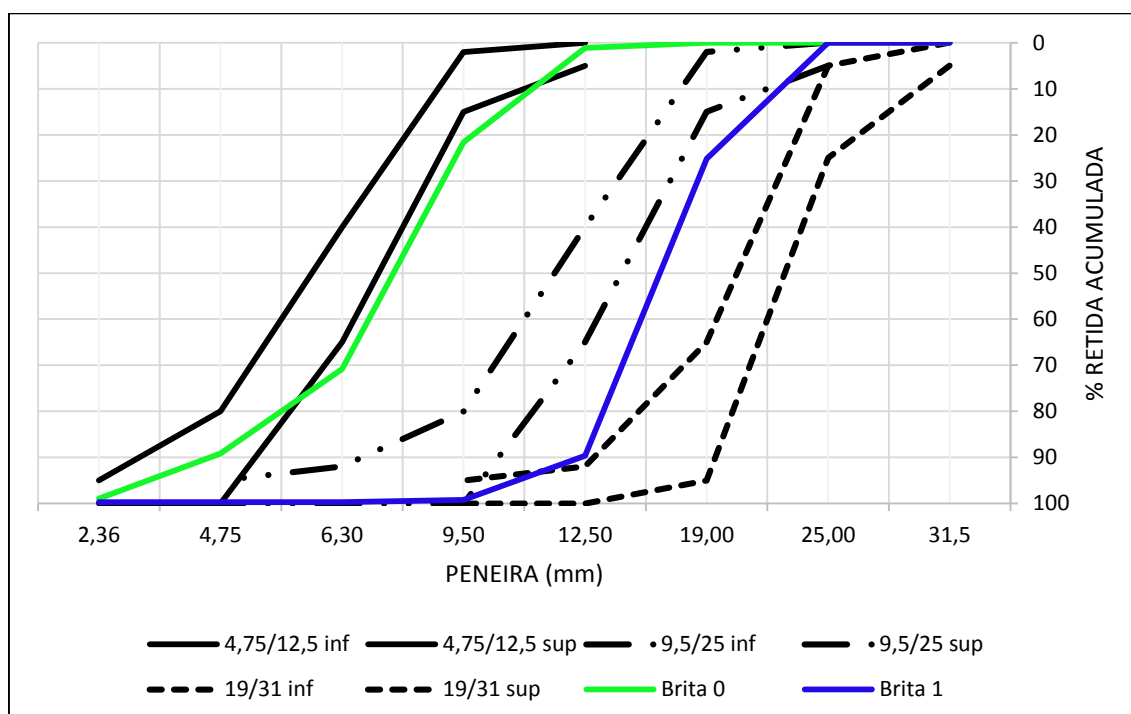


Gráfico 16 - Representação gráfica das composições granulométricas dos agregados graúdos