

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

FABRÍCIO MAGLEY PRESOTTO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ADITIVO HIDROFUGANTE EM CONCRETOS

**CASCADEL - PR
2016**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

FABRÍCIO MAGLEY PRESOTTO

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ADITIVO HIDROFUGANTE EM CONCRETOS

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, da Faculdade Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professora Orientadora: Engenheira Civil Me. Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres.

**CASCADEL - PR
2016**

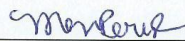
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

FABRÍCIO MAGLEY PRESOTTO

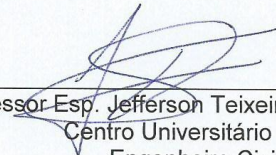
ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ADITIVO HIDROFUGANTE EM CONCRETOS

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professora Msc. Maria Vânia Nogueira Do Nascimento Peres.

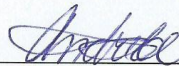
BANCA EXAMINADORA



Orientadora Prof^a. Msc. Maria Vânia Nogueira Do Nascimento Peres
Centro Universitário FAG
Engenheira Civil



Professor Esp. Jefferson Teixeira Olea Homrich
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil



Professora Esp. Andréa Resende Souza
Centro Universitário FAG
Engenheira Civil

Cascavel, 28 de Outubro de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família que, com muito apoio, nunca mediram esforços para que chegasse nesta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas oportunidades que me forneceu e por ter me dado subsídio para chegar até aqui, dando-me forças para não desistir dos meus sonhos e seguir o meu caminho dia após dia. Aos meus pais, Eloi Guilherme Presotto e Cleudete Nair Presotto, e também a minha irmã Michelli Cristiane Presotto Dall' Agnol, os quais são meu maior orgulho e exemplo de vida, que de alguma forma sempre estiveram em minha vida, apoiando nas minhas decisões e acreditando em mim.

À professora Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres, pela dedicação e paciência ao me auxiliar e orientar neste trabalho, pelos conselhos e advertências quando necessário e, principalmente, pelos conhecimentos e experiências repassados. Muito obrigado!

À professora Andrea Resende Souza, pelas dicas e conhecimentos repassados no seu tempo livre das suas aulas práticas no laboratório.

Aos amigos Bruno Herinque Babinski Pasoline, Joel Stahl Junior, Lucas Angel Pior Donida, Lucas Matheus de Grandi, Luís Paulo Bettin Baldissera, Thiago Vinicius Weber, Thony Carlos Rocha Brito e Vinicius Eugênio Volpato que durante todo esse período de graduação foram meus grandes parceiros nessa caminhada e minha segunda família em Cascavel.

Ao Lucas, Wesley e Cirço, do laboratório de Construção Civil, pela disponibilidade e pelo auxílio na realização dos ensaios, fundamentais à concretização deste trabalho.

Aos demais professores, amigos e colegas da universidade e da vida.

"Se fracassar, ao menos que fracasse ousando grandes feitos, de modo que a sua postura não seja nunca a dessas almas frias e tímidas que não conhecem nem a vitória nem a derrota."

(Theodore Roosevelt)

RESUMO

Os aditivos têm sido largamente utilizados como insumo na construção civil, tendo como objetivo o melhoramento de certas propriedades do concreto fresco e/ou endurecido, sendo assim a presente pesquisa buscou verificar o desempenho de um aditivo quanto a resistência à compressão, módulo de elasticidade e ascensão da água por capilaridade em corpos de prova de diferentes resistências. Neste caso, a adição do aditivo empregado causou uma redução da ascensão capilar, porém promoveu redução da resistência do concreto, sendo esta mais significativa quanto maior for a resistência do concreto de referência, motivo pelo qual o aditivo possuir em sua composição química o ácido oleico, que decorre na incorporação de ar no concreto. Além disso, outros efeitos colaterais do aditivo constatado foi o aumento da trabalhabilidade e também variações não significativas no que se refere ao módulo de elasticidade quando comparado com o traço de referência. Assim, o aditivo atendeu de certa forma sua especificação principal, a qual é a ascensão capilar, porém, concluiu-se neste trabalho, que a ascensão capilar está diretamente ligada a resistência à compressão, na qual se tornou menos significativa quanto maior for a resistência à compressão do concreto estudado, sendo que tais resultados obtidos foram derivados de ambiente controlado e em concretos jovens, carecendo ainda de estudos em concretos antigos, de modo a comprovar o real desempenho no decorrer da vida útil de uma suposta estrutura de concreto.

Palavras-chave: Absorção capilar. Concreto com aditivos. Hidrofugantes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Porosidade aberta, (b) Porosidade fechada	21
Figura 2 - Tipos de poros no concreto.....	22
Figura 3 - Porosidade capilar	23
Figura 4 - Fatores que afetam a porosidade, absorção e permeabilidade	24
Figura 5 - Fenômeno de capilaridade.....	25
Figura 6 - Absorção capilar	26
Figura 7 - Esquema de Concreto com e sem hidrofugante.	29
Figura 08 - Tipos de Tratamentos dos Poros Capilares	30
Figura 09 - Micrografia eletrônica de varredura Verifica-se que próximo ao agregado predomina o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), já o C-S-H encontra-se mais afastado do agregado	31
Figura 10 - Poucos cristais de C-S-H próximo ao agregado, representando a porosidade e conseqüentemente a menor resistência.....	32
Figura 11 - Fenômeno de água exsudada interna.....	33
Figura 12 - Esquema para moldagem de corpos de prova.....	35
Figura 13 - Granulometria do agregado miúdo utilizado.....	37
Figura 14 - Gráfico da granulometria do agregado graúdo.....	38
Figura 15 - Ensaio de absorção de capilaridade.....	41
Figura 16 - Ensaio de compressão axial no concreto.....	43
Figura 17 - Esquema de compressão diametral de corpos de prova.....	44
Figura 18 - Ensaio do módulo de elasticidade.....	45
Figura 19 - Resultado do ensaio de índice de consistência dos concretos.....	46
Figura 20 - Média da massa seca dos corpos de prova.....	47
Figura 21 - Resultado da resistência média à compressão.....	48
Figura 22 - Desvio padrão da resistência média à compressão.....	50
Figura 23 - Desvio-padrão a ser adotado para concretos desconhecidos	50
Figura 24 - Comparação do módulo de elasticidade normativo, com o módulo experimental versus resistência característica (f_{ck})	51
Figura 25 - Comparativo entre módulo elasticidade normativo versus experimental	53
Figura 26 - Representação do comportamento tensão–deformação sob compressão simples	55

Figura 27 - Correspondência entre módulo de elasticidade inicial, E_{ci} , com a resistência a compressão dos concretos de mesmos materiais.....	56
Figura 28 - Absorção de água por capilaridade em função do tempo	57
Figura 29 - Absorção de água total durante 72 horas de ensaio.....	59
Figura 30 - Acensão capilar média no corpo de prova	60
Figura 31 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	61
Figura 32 - Resistência média à tração por compressão diametral.....	61
Figura 33 - Figura 33 – Comparativo entre a resistência à tração direta experimental e teórica	62
Figura 34 - Desvio padrão do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Classificação granulométrica do agregado graúdo	20
Tabela 02 - Traços utilizados	35
Tabela 3 - Dosagem dos materiais utilizados.....	36
Tabela 03 - Absorção por capilaridade.....	57

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Absorção de água por capilaridade.....	42
Equação 02 - Resistência à compressão	43
Equação 03 - Resistência à tração por compressão diametral	44
Equação 04 – Módulo de elasticidade tangente inicial.....	52
Equação 05 – Estimativa da resistência a tração direta (fct,m).....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

CP - Corpo de Prova;

C-S-H - Silicato de Cálcio Hidratado;

Fck - Resistência Característica Do Concreto À Compressão;

Fcm - Resistência Média Do Concreto À Compressão;

FIHP - Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado;

FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos;

g – Grama;

IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto;

ISO - International Organization for Standardization - (Organização Internacional para Padronização);

MPa – Mega Pascal;

NBR - Norma Brasileira.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	17
CAPÍTULO 2	18
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.1 Concreto	18
2.2 FATORES QUE AFETAM NAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	19
2.2.1 Agregados	19
2.2.2 Agregado Graúdo	19
2.2.3 Agregado miúdo	20
2.2.4 Porosidade, permeabilidade e capilaridade no concreto	21
2.2.5 Durabilidade	24
2.2.6 Fenômeno de Capilaridade	25
2.2.7 Aditivo	26
2.2.7.1 Aditivo Impermeabilizante	27
2.2.8 Zona de transição	30
CAPÍTULO 3	34
3.1 METODOLOGIA	34
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	34
3.1.2 Traço de concreto empregado	34
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	36
3.2.1 Cimento	36
3.2.2 Agregado Miúdo	36
3.2.3 Agregado Graúdo	37
3.2.4 Água	38

3.2.5 Aditivo.....	38
3.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	39
3.3.1 Preparo do concreto	39
3.3.2. Consistência e Trabalhabilidade do concreto	39
3.3.3 Moldagem dos Corpos de prova	40
3.3.4 Cura.....	40
3.4 ENSAIOS REALIZADOS	41
3.4.1 Absorção De Água Por Capilaridade.....	41
3.4.2 Resistência Mecânica à Compressão	42
3.4.3 Resistência à Tração Por Compressão Diametral.....	43
3.4.4 Módulo estático de elasticidade à compressão	44
CAPÍTULO 4.....	46
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1.1 Índice de Consistência	46
4.2 Resistência à Compressão.....	48
4.3 Módulo de Elasticidade Tangente Inicial	51
4.4 Ascensão Capilar	56
4.4.1 Ascensão Capilar Externa	59
4.4.2 Resistência à tração por compressão diametral.....	60
CAPÍTULO 5.....	65
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
CAPÍTULO 6.....	66
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
ReFERÊNCIAS	67

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Segundo Metha e Monteiro (1994), o concreto de cimento Portland é o material manufaturado mais utilizado. Isto porque suas aplicações oferecem propriedades adequadas a baixo custo, combinado com economia de energia e benefícios ecológicos. Sendo assim, é desejável que se saiba mais sobre concreto do que qualquer outro material de construção.

De acordo com a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP) (IBRACON, 2009, p. 15) o concreto é o material construtivo mais disseminado no mundo, podendo ser encontrado em casas de alvenaria, rodovias, pontes, torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e até nos edifícios mais altos do mundo. A FIHP estima que são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto, o que resulta em um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água.

Metha e Monteiro (1994) afirmam que, apesar do concreto ser bastante utilizado é difícil estudar sua estrutura e dar um tratamento científico adequado sobre o mesmo, pois apesar da ilusória simplicidade, o concreto tem uma estrutura altamente complexa em que as relações estrutura-propriedades que são geralmente aplicadas a outros materiais, não podem ser facilmente aplicáveis para este, devido a heterogeneidade da mistura.

Dessa forma, torna-se interessante o estudo científico, principalmente de algumas de suas propriedades, sendo que para Neville e Brooks (2013), a durabilidade do concreto é uma de suas propriedades mais relevantes, pois é essencial que ele seja capaz de resistir às condições as quais foi concebido durante a vida da estrutura. Sendo que normalmente concretos densos ou impermeáveis apresentam durabilidade a longo prazo (METHA; MONTEIRO, 1994).

Para Fusco (2008), a durabilidade do concreto, depende essencialmente da porosidade capilar, sendo esta, função do fator água/cimento.

Além disso, Metha e Monteiro (1994) comentam que geralmente há uma ínfima correspondência entre resistência e durabilidade do concreto, sendo que estas propriedades também estão, de certa forma, ligada à permeabilidade do

concreto, tal qual não depende das proporções da mistura, compactação e da cura, mas também das microfissuras causadas pelos ciclos normais de temperatura e de umidade.

De acordo com Tartuce e Giovanneti (1990), a permeabilidade é a principal propriedade para os concretos que, expostos ao ar, sofrem ataques de águas agressivas ou a ação destrutiva dos agentes atmosféricos. Da mesma forma, essa propriedade assume importância no concreto de estruturas hidráulicas.

Assim, com a necessidade de fabricar cada vez mais concretos mais resistentes e com qualidades superiores, torna-se crescente o uso de aditivos, no qual melhoram algumas das propriedades do concreto, apesar de os aditivos terem um certo valor, geralmente eles não se tornam um custo adicional, tendo em vista, que os aditivos podem resultar em economia pelo desempenho superior do produto final (NEVILLE, 1997).

Em consonância com Leonhardt e Mönning (1977), os aditivos impermeabilizantes diminuem a permeabilidade à água, porém seu emprego é crítico de ser comprovado, por conduzir facilmente à perdas de resistência. Além disso, existe uma grande quantidade de aditivos disponível no mercado, em que seus efeitos desejados são descritos pelos fabricantes, porém efeitos indesejados podem não ser conhecidos, de modo que se tenha um enfoque acautelado, sendo que ensaios de desempenho se tornam sensato (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Diante do exposto, pretende-se verificar a variação das propriedades do concreto com o uso de um aditivo impermeabilizante, onde a “impermeabilização” ocorre por hidrofugação dos poros capilares, em diferentes classes de resistência de concreto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

-Avaliar o desempenho da utilização de aditivo impermeabilizante em concreto com diferentes classes de resistência, sendo as resistências esperadas de 20, 30, 40 e 50 MPa.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar a absorção e a ascensão capilar nos corpos de prova;
- Determinar a resistência de corpos de prova por tração diametral;
- Determinar a resistência de corpos de provas por compressão axial;
- Realizar ensaio de módulo de elasticidade em concreto.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo Metha e Monteiro (1994), os problemas resultantes do mau uso dos aditivos continuam a crescer, e a origem da maior parte desses problemas parece estar na incompatibilidade entre um aditivo e a respectiva composição do concreto.

Outro fator também relevante é a grande quantidade de aditivos impermeabilizantes para concreto no mercado, de qualidade e desempenhos variáveis, de diversas origens e metodologias de aplicação, sendo elas normatizadas ou não (MELLO, 2005). Além disso, alguns desses produtos possuem desempenho incerto e carecem de estudos (NEVILLE, 1997).

Sendo assim, os fabricantes desses aditivos usam, de certa forma, o marketing do aditivo “impermeabilizante”, que à primeira vista traria benefício de “impermeabilidade total” ao concreto somente ao adicionar o produto. Porém, segundo Neville (1997), é difícil de ser conseguida a impermeabilidade plena.

Para tanto, o presente trabalho visa verificar o desempenho de um aditivo utilizado em 4 (quatro) traços de concreto com resistência esperada de 20, 30, 40 e 50 MPa, verificando a influência do aditivo nesses traços quanto à resistência, ascensão capilar dos corpos de provas e módulo de elasticidade.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A utilização de aditivo impermeabilizante é eficaz nos concretos de diferentes resistências, sem alterar significativamente outras propriedades importantes como resistência à compressão e módulo de elasticidade?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa será limitada na confecção de corpos de prova com traços pré-definidos de 20, 30, 40 e 50 MPa, com e sem o uso de aditivo impermeabilizante por hidrofugação dos poros capilares, com utilização de agregados encontrados no mercado de Cascavel-PR

Limita-se a pesquisa aos ensaios de compressão axial, ascensão capilar do concreto endurecido, resistência à tração diametral e módulo de elasticidade, contando com um universo de pesquisa total de 96 corpos de provas cilíndricos com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, que serão curados em câmara úmida por 28 dias, para início dos ensaios.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Concreto

Para Metha e Monteiro (1994), o concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água.

Para Neville e Brooks (2013), concreto no seu sentido mais amplo, é um produto qualquer elaborado com base de um meio cimentante. Geralmente, esse meio é o produto da reação entre um cimento hidráulico e água, porém esta definição hoje satisfaz uma larga gama de produtos.

Segundo Fonseca (2010), o concreto é o material mais largamente utilizado em construção e, normalmente, constituído de uma mistura de cimento Portland, agregados (grãos e miúdos), água, aditivos e adições minerais, tendo aplicação em vários tipos de estruturas, desde barragens até sofisticados edifícios com protensão.

Posto isso, apesar do concreto ser muito utilizado, é dificultoso dar um tratamento científico sobre o concreto, isso porque, apesar da ilusória simplicidade, o concreto tem uma estrutura altamente complexa, em que as relações estrutura-propriedades que são geralmente aplicadas a outros materiais não podem ser facilmente aplicáveis para este, devido ao concreto ser uma mistura heterogênea de muitos componentes sólidos, assim como vazios de formas e tamanhos diferentes, podendo estes, estarem cheios de solução alcalina ou não, o que se torna complexo o seu estudo (METHA; MONTEIRO, 1994).

2.2 FATORES QUE AFETAM NAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

2.2.1 Agregados

Os agregados são partes constituintes do concreto, tendo em vista que aproximadamente $\frac{3}{4}$ do volume de concreto são ocupados pelos agregados, portanto, espera-se que a qualidade de tais seja importante. Além disso, os agregados não só limitam a resistência do concreto, mas também afetam a durabilidade e seu desempenho estrutural (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Para O'Reilly (1998, *apud*, Lorenzetti, 2002, pg 12), no que diz respeito as misturas de concreto, vários autores estão de acordo em que as características do agregado afetam as propriedades do concreto, tais como: Forma, área específica, trituração, rugosidade entre outros, assim o agregado pode ou não contribuir para melhorar as características do concreto, porém o aproveitamento deste conhecimento esbarra no grau de dificuldade associado na determinação dessas características, pois na elaboração do concreto dificilmente se consegue determinar as mesmas.

2.2.2 Agregado Graúdo

A NBR 7211 – Agregados para Concreto: Especificação (ABNT 2009) define que agregado graúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira de malha 4,75.

Neville e Brooks (2013) destacam que a presença de partículas alongadas ou lamelares acima de 10 a 15% em relação à massa de agregados graúdos, é considerada indesejável, pois ocasionam uma elevada relação entre área superficial e volume, diminuindo a trabalhabilidade das misturas além de afetar negativamente durabilidade do concreto, pois há uma forte tendência de se acomodar em um segundo plano orientado, com formação de vazios e acúmulo de água abaixo dele.

Entre as peneiras descritas acima, classifica-se ainda o agregado graúdo conforme os limites descritos na Tabela 1.

Tabela 1- Classificação granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica				
	d/D ^a				
	4,75/12,50	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	4 - 25	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 ^b	65 ^b - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 ^b - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

^a Zona granulométrica correspondente à menor (*d*) e a maior (*D*) dimensões do agregado graúdo.

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Esta variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: NBR 7211 (2009)

2.2.3 Agregado miúdo

Para a NBR 7211 (ABNT, 2009) agregado miúdo é aquele no qual os grãos passam pela peneira com abertura da malha de 4,75 mm, ressalvados os limites de distribuição granulométrica proposta pela mesma norma, em ensaio de acordo com a NM 248 – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 – Peneiras de ensaio e requisitos técnicos e verificação (ABNT, 2010).

Ainda o agregado miúdo (areia) pode ser natural ou artificial (fabricado), sendo que a areia é normalmente produzida pela ação erosiva dos riachos sobre as rochas e pode ser encontrada em depósitos lacustres, marinhos ou eólicos. O formato dos grãos de areia depende diretamente do tipo do depósito, podendo ser

angulosos ou arredondados. Já a areia artificial, também conhecida como industrial, é naturalmente angulosa (GALLEGOS e CASABONE, 1991 *apud* RIGO, 2015).

Além disso, para Petrucci (1998), a granulometria é o fator que governa a atuação do agregado miúdo, que sob este ponto de vista, pode ser classificado em:

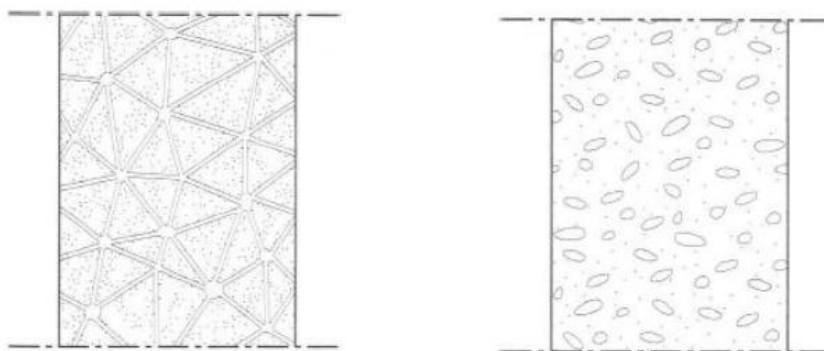
- a) Areia fina (Módulo de Finura $< 2,4$ $\varnothing$ máx. $< 2,4$ mm);
- b) Areia média ($2,4 < M.F < 3,3$ $\varnothing$ máx. = 2,4 mm a 4,8 mm);
- c) Areia grossa ($MF > 3,3$ $\varnothing$ máx. = 4,8 mm).

2.2.4 Porosidade, permeabilidade e capilaridade no concreto

Porosidade são os espaços vazios contidos no concreto, nada mais é que a proporção do volume total do concreto ocupada por poros, em que, geralmente, é expresso em porcentagem. Assim havendo poros interligados, estes favorecerão o deslocamento de fluidos através do concreto de tal maneira que a permeabilidade passa a ser alta. Por outro lado, se os poros forem descontínuos ou, de outro modo, ineficazes, o deslocamento de fluidos se torna dificultoso, diminuindo a permeabilidade do concreto, mesmo com uma porosidade alta (NEVILLE, 1997).

Ainda a porosidade pode ser do tipo aberta ou fechada, conforme Figura 1. Já a capacidade de absorção depende do tipo de porosidade, sendo função explícita dos poros que tem comunicação com o meio exterior, e a permeabilidade tem relação com a continuidade dos canais que têm comunicação com o meio externo.

Figura 1- (a) Porosidade aberta, (b) Porosidade fechada.



Fonte: Freitas *et al* (2008).

Dessa maneira, o concreto é resultado de um sólido compacto e denso, porém poroso, formando um entramado de canais e capilares que nem sempre estão comunicados entre si, mas que permite o concreto apresentar certa permeabilidade aos fluidos (PEDRIX; DEL CARMEN, 1992).

Assim, a permeabilidade do concreto depende essencialmente do fator água/cimento, no qual determina o tamanho, volume e continuidade dos espaços capilares no concreto, e da dimensão máxima do agregado, que influencia microfissuras na zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento (FURNAS, 1997).

Segundo Furnas (1997), há três métodos pelos quais a água percola pelo concreto ou outros materiais semiporos, destacando eles:

- a) Percolação de água sob pressão suficiente, de modo a forçar o líquido a penetrar nos espaços vazios do concreto;
- b) Pela difusão, como o vapor, pelo intermédio dos poros capilares, devido à diferença de pressão de vapor em faces opostas do concreto;
- c) Pela capilaridade e evaporação da superfície livre.

Neville (1997) também destaca que os poros contidos no concreto, influencia a resistência do concreto, tendo em vista que o volume de todos os vazios: ar aprisionado, poros capilares, poros do gel e ar incorporado, torna o concreto mais suscetível à ruptura.

Em síntese, a porosidade do concreto afeta a durabilidade do mesmo, isso pois a porosidade está geralmente relacionada com a entrada de agentes agressivos (FUSCO, 2008). Desta forma, os poros existentes no concreto são devido a várias causas, sendo possível verificar algumas delas na Figura 2.

Figura 2 - Tipos de poros no concreto

Tipos de poros	Dimensões (mm)
a) Poros de compactação	0,5 a 5
b) Poros devidos à incorporação de ar	0,05 a 0,5
c) Poros capilares	$0,5 \times 10^{-4}$ a 0,05
d) Poros do gel de cimento	$0,5 \times 10^{-6}$ a $0,5 \times 10^{-4}$

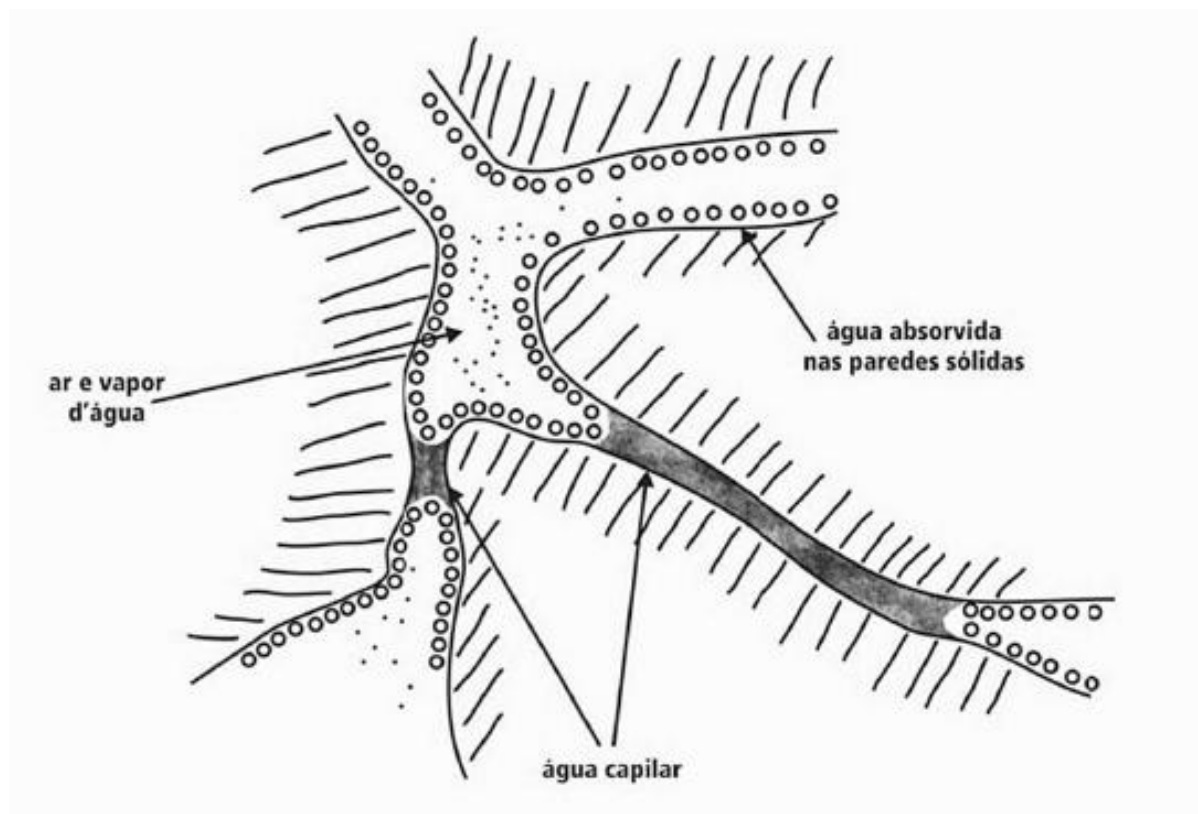
Fonte: Fusco (2008)

De acordo com Fusco (2008), os poros referentes à compactação do concreto são devido ao atrito que há entre os grãos dos agregados e as fôrmas para a concretagem, podendo até provocar falhas na compactação, já os poros oriundos da incorporação de ar, podem ser vistos como minúsculos defeitos localizados, que agravam a agressão do meio externo por meio de fluidos.

Ainda, os poros de gel de cimento são em virtude da retração química da água de hidratação do cimento, são poros de pequenas dimensões e isolados uns dos outros, onde não permitem o fluxo de fluidos por seu intermédio e, portanto não participando dos mecanismos de ataque ao concreto.

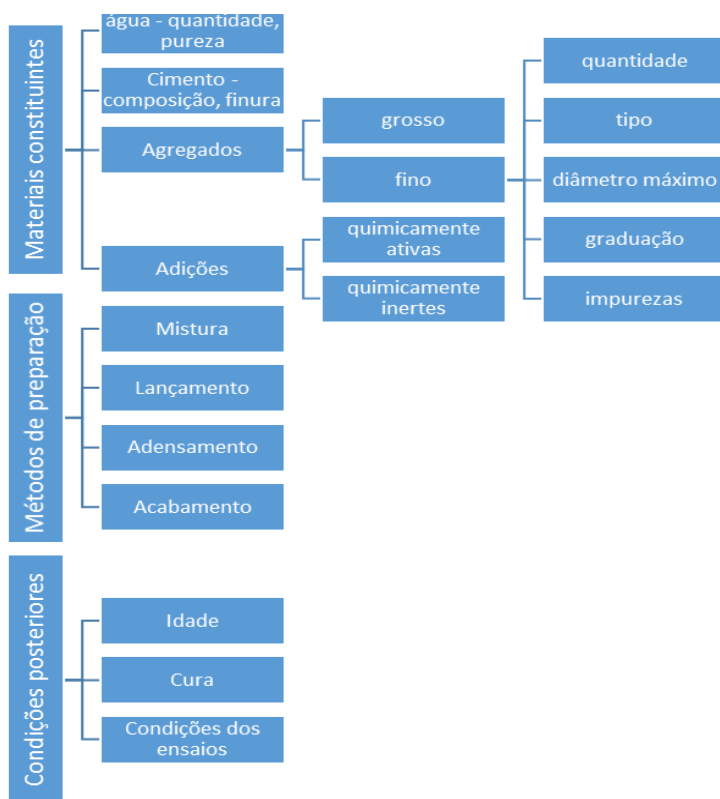
Por fim, Fusco (2008) pontua que os poros capilares formam uma rede de canais intercomunicantes ao longo de toda a massa de concreto, e são resultantes basicamente pela evaporação do excesso de água de amassamento, em que após o endurecimento do concreto, parte dessa água evapora, ficando uma rede capilar pequenos poros saturados de água, e os maiores contendo ar e vapor no seu interior, conforme é possível verificar na Figura 3.

Figura 3 - Porosidade capilar



Fonte: Fusco (2008)Pretrucci (2008) ainda destaca os fatores que afetam a porosidade, a absorção e a permeabilidade, que estão agrupados na Figura 4.

Figura 4 - Fatores que afetam a porosidade, absorção e permeabilidade



Fonte: Adaptado de Petrucci (1998)

2.2.5 Durabilidade

Segundo Mehta e Monteiro (1994, pg 14.), "Durabilidade é definida como a vida útil de um material sob determinadas condições ambientais. Normalmente, concretos densos e impermeáveis, apresentam durabilidade a longo prazo". Já a NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento (ABNT, 2014) aponta como quesito de durabilidade, que as estruturas devem conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

Aquino Junior (2009) afirma que a durabilidade do concreto tem relação quanto à facilidade de penetração de substâncias agressivas, tais como CO² (gás carbônico), Cl (cloreto), O² (oxigênio) e H²O (água).

Já Neville e Brooks (2013) enfatizam que a durabilidade do concreto é uma de suas propriedades mais importantes, pois, é preferivelmente que ele seja capaz de resistir as condições às quais foi projetado durante a vida da estrutura.

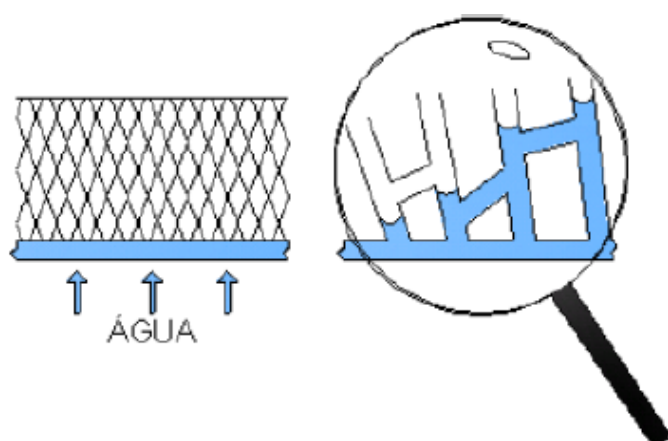
Apesar de a durabilidade ser um termo “forte”, ela não enfatiza sua vida indefinida, sendo que ela só é alcançada ou tem um bom desempenho quando a estrutura for conservada, sendo tomados os devidos cuidados presentes no manual do proprietário/edifício e sejam realizadas as manutenções de rotina e necessárias (NEVILLE; BROOKS, 2013).

2.2.6 Fenômeno de Capilaridade

Atkins (1999) conceitua capilaridade como a tendência de fluidos terem ascensão em canais capilares. Sendo que, a capilaridade tem relação com a tensão superficial do líquido. Ao se analisar um tubo capilar imerso em qualquer líquido que tenha capacidade de aderir ao tubo, é possível verificar que forma uma película fina do líquido que se espalha na parede interna do capilar, ocorrendo a ascensão.

Pascoa (2012) afirma que o transporte de água líquida em materiais porosos ocorre essencialmente por capilaridade, sendo a capilaridade um mecanismo de progressão de água líquida através dos poros capilares do produto, onde ocorrem forças de atração entre o líquido e o material sólido, que conseqüentemente são mais fortes que as forças de coesão do líquido, conforme Figura 5.

Figura 5 - Fenômeno de capilaridade

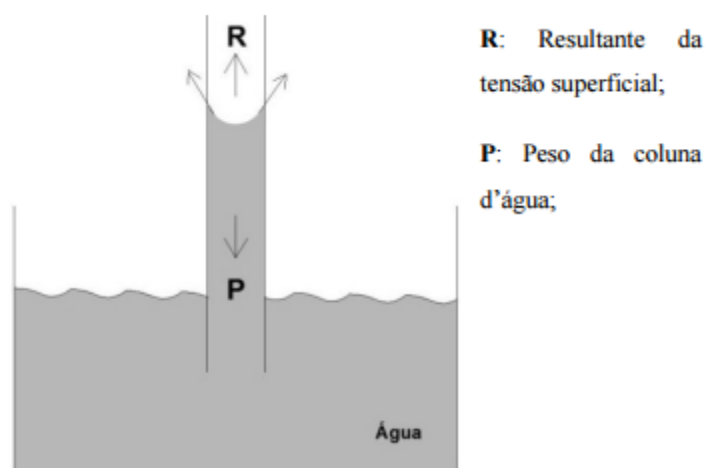


Fonte: Freitas *et al* (2008)

Desta forma, a absorção capilar é representada também pela Figura 6. A absorção ocorre quando a interação entre o material que forma o interstício e a água for maior que a coesão do líquido, tornando a superfície da água côncava devido à

tensão superficial do líquido, tal que essa curvatura dá origem a uma resultante contrária ao peso da coluna de água, sendo esta maior que a pressão do ar existente no interior do capilar, assim o líquido desenvolve o movimento ascendente enquanto a pressão capilar for maior que o peso da água, e cessará quando as intensidades dos vetores se igualarem estabelecendo o equilíbrio (SILVA, 2013 *apud* PÁSCOA, 2012).

Figura 6 - Absorção capilar



Fonte: Silva (2013, adaptado de Páscoa, 2012)

2.2.7 Aditivo

Segundo a NBR 11768 – Aditivos para concreto de Cimento Portland (ABNT, 2011), aditivo é o produto incorporado durante o processo de preparação do concreto, em dosagem não maior que 5 % da massa de material cimentício contida no mesmo, com o intento de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido.

Para Petrucci (1998), aditivos são substâncias inseridas intencionalmente ao concreto, com o propósito de reforçar ou melhorar certas propriedades, inclusive facilitando seu preparo e utilização. Ressalta-se que os aditivos não pretendem corrigir defeitos intrínsecos ao concreto, como a dosagem incorreta ou colocação mal feita.

Yazigi (2009), afirma que aditivo é aquele que reage com o cálcio do cimento e o composto resultante repele a água, utilizando teores que podem variar de 1 a 3%

ou 4%, dependendo do fabricante, sendo principalmente usado em paredes de reservatório de água ou lajes expostas.

De acordo com o Manual Técnico Construction Chemicals - MC-Bauchemie (2014), os aditivos químicos atuam frequentemente nas propriedades reológicas do concreto, e sua efetividade varia de acordo com sua concentração, tipo de material, temperatura ambiente e dos constituintes do concreto, enfatizando a energia de mistura, tempo da adição e variação dos constituintes. Além do efeito principal, os aditivos podem apresentar efeitos secundários, modificando características do concreto.

Segundo a Revista de Engenharia e Tecnologia (2013), a classificação dos aditivos pode ser baseada na ação dos seus efeitos. Já o critério baseado na ação é mais utilizado no meio científico e distinguindo apenas as ações puramente químicas, físicas ou físico-químicas.

2.2.7.1 Aditivo Impermeabilizante

Para Neville (2013), o concreto absorve água por tensão superficial nos poros capilares da pasta de cimento, “puxando para dentro” a água por sucção capilar. Desta maneira, os aditivos impermeabilizantes têm como objetivo impedir/difícultar essa penetração de água no concreto. Seu desempenho depende da pressão aplicada à água, ou de ascensão capilar, ou se houver pressão hidrostática para contenção de água. Portanto, sendo discutível a validade do termo “IMPERMEABILIZANTE”, e não suficientemente padronizados de modo a fazer generalizações confiáveis.

Ainda para Neville (2013), os aditivos impermeabilizantes podem agir de várias formas, porém seu efeito consiste principalmente em tornar o concreto hidrófobo, ou seja, aumentar o ângulo de contato entre a água e os poros capilares, de tal modo que possa ser “empurrada para fora”.

Ainda alguns aditivos impermeabilizantes, além da ação hidrófoba, efetuam também um bloqueio dos poros por meio de um componente coalescente. Porém, infelizmente existem poucas informações disponíveis para possibilitar a explicação e a classificação dos modos de atuação envolvidos, assim, deve-se confiar nos dados do fabricante combinados com evidência experimental de cada aditivo, levando em

conta que é necessário um período de experiência suficientemente longo para concluir a estabilidade de um impermeabilizante (NEVILLE, 2013).

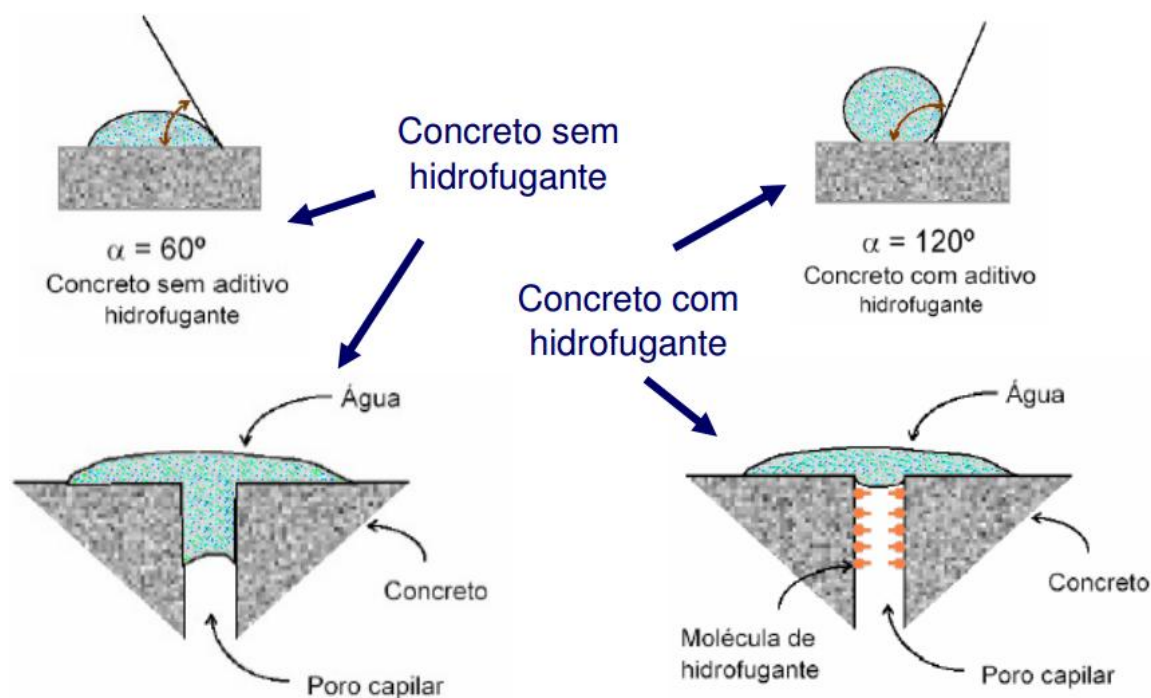
Já segundo Petrucci (1998), os impermeabilizantes agem ou por obturação dos poros ou por ação repulsiva com relação à água (hidrofugantes).

A Revista Equipe de Obra (2008) apresenta aditivos impermeabilizante, como aditivos hidrofugantes e plastificantes que têm a função de impermeabilizar concretos e argamassas por hidrofugação, ou seja, repele a água. Geralmente compostos por sais inorgânicos, costumam ser oferecidos na forma líquida e devem ser adicionados ao concreto.

Porém, para Ramachandram (1984), aditivos considerados impermeabilizantes são aqueles que têm como finalidade reduzir a entrada de umidade sob pressão. Já os aditivos hidrofugantes tem a finalidade de reduzir a migração dessa umidade por capilaridade, e frisa que os aditivos hidrofugantes são ineficientes na função de aditivos impermeabilizantes.

Freitas Jr. (2013) também divide aditivos que tem intuito de diminuir a permeabilidade do concreto, em aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes, sendo os hidrofugantes aqueles que repelem eletricamente a água, reduzindo a penetração conforme Figura 7, e os impermeabilizantes, os que obturam os poros do concreto reduzindo a penetração de umidade sobre pressão, ressaltando que, Ambas as técnicas não funcionam bem com relações a/c ou consumos de cimento muito altos, por ter sua eficiência prejudicada pela fissuração do concreto.

Figura 7 - Esquema de Concreto com e sem hidrofugante



Fonte: Vanderlei (2008, *apud* Freitas Jr., 2013)

Segundo Freitas Jr. (2013) e Vedacit (2010), existem basicamente três tipos de impermeabilizante, sendo eles:

a) Hidrofugantes:

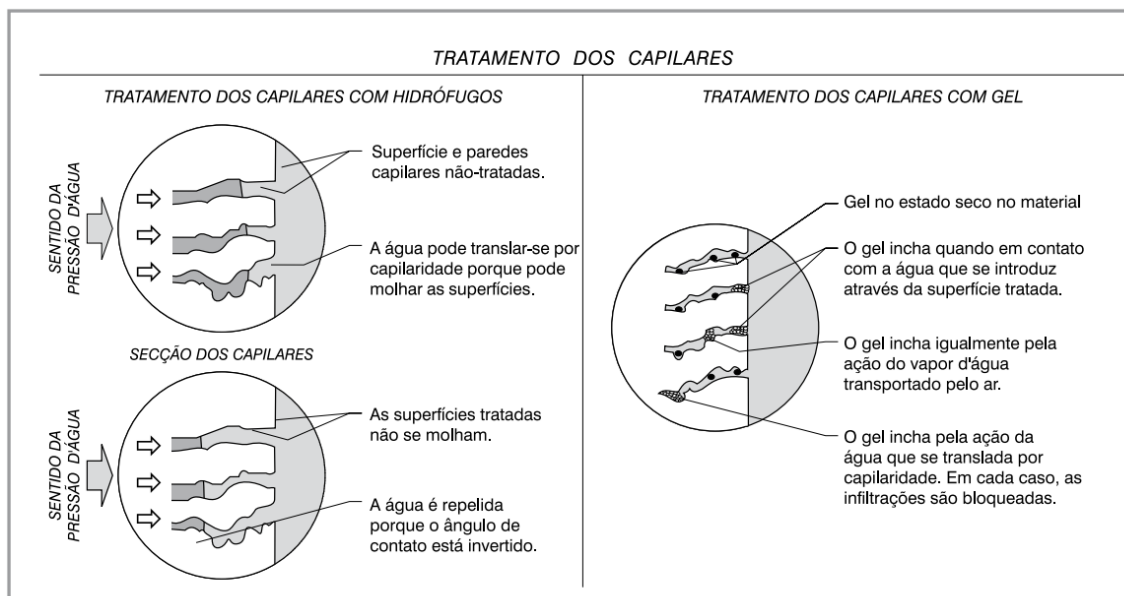
- Sais inorgânicos que reagem com a cal livre do cimento, formando sais cálcicos insolúveis;
- Materiais hidrófugos que se diferem daqueles do primeiro apenas por já se apresentarem na sua forma final, não reagindo com os componentes do cimento (Figura 8).

b) Impermeabilizantes:

- Géis constituídos de partículas globulares que, após a quebra da emulsão no meio alcalino do cimento, aglutinam-se na presença de água, reduzindo a seção dos capilares (Figura 8).

O Manual Técnico Aditivos Para Concretos e Argamassas - Vedacit (2010) apresenta também o funcionamento dos diferentes tipos de aditivos.

Figura 08 - Tipos de Tratamentos dos Poros Capilares



Fonte: Manual Técnico VEDACIT (2010)

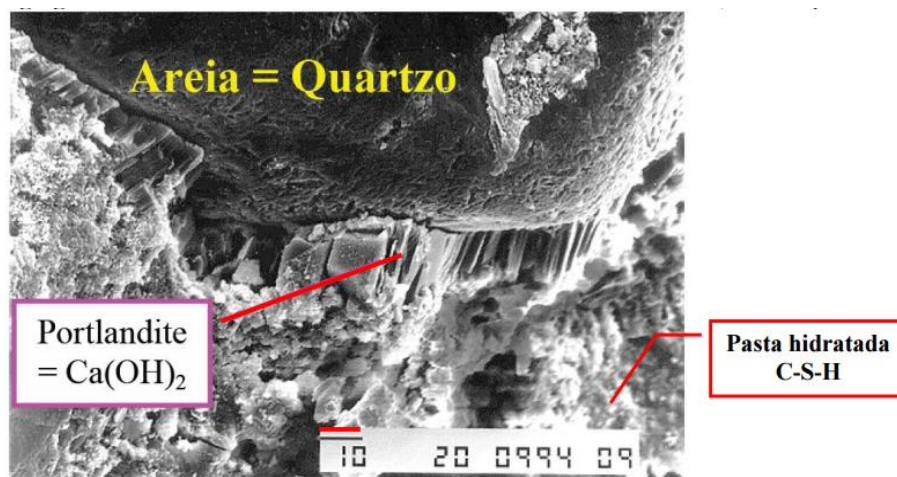
Leonhardt e Mönning (1977) avaliam que o emprego de aditivo impermeabilizante é crítico de ser comprovado, porque reduz à resistência, e ainda afirmam que se pode confeccionar concreto menos permeáveis, obtendo um bom controle tecnológico dos materiais e das escolhas, tais como um concreto com suficiente quantidade de finos e perfeitamente adensado.

2.2.8 Zona de transição

A zona de transição é representada pela região interfacial entre as partículas de agregado graúdo e a pasta. Sendo formada uma camada delgada, da ordem de 10 a 50 μm de espessura ao redor do agregado graúdo, assim a zona de transição geralmente é a mais fraca do que os outros dois componentes principais do concreto e, conseqüentemente, exerce uma influência muito maior sobre o comportamento mecânico do concreto do que pode ser esperado pela sua espessura (METHA; MONTEIRO, 1994).

Na Figura 09, é possível observar na micrografia eletrônica de varredura, mostrando a zona de transição com cristais de Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio) na interface da pasta de cimento com a areia. Largura do campo = $160\mu\text{m}$, com observação de uma folha de papel = $100\mu\text{m}$ e traço de 1,0: 1,8: 5,5, com consumo de cimento = 450kg/m^3 e fator $a/c = 0,5$, $f_{c28\text{dias}} = 36,3\text{ MPa}$.

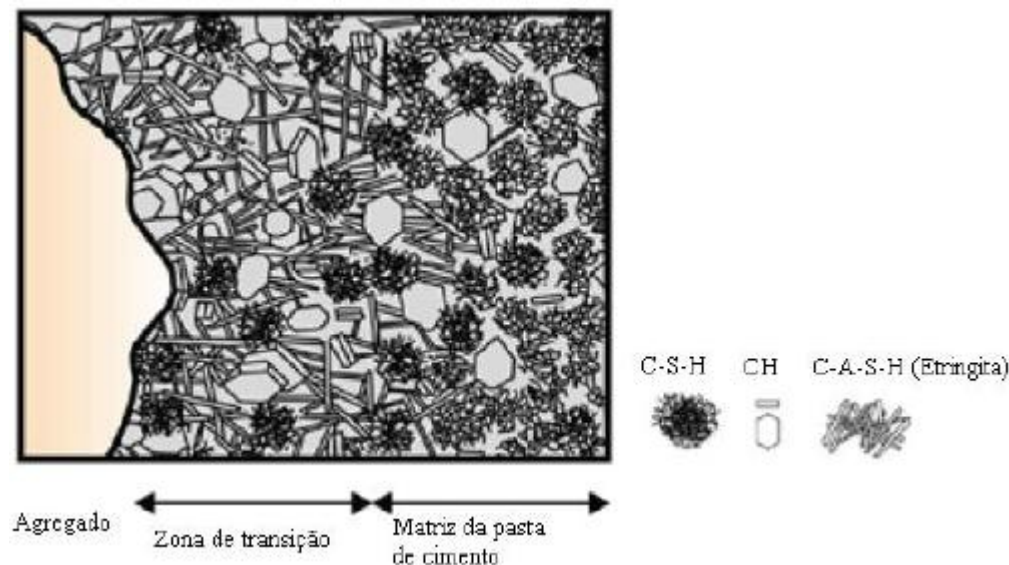
Figura 09 - Micrografia eletrônica de varredura



Fonte: Notas de Aula – IME (THOMAZ, 2010)

Assim, segundo Maso (1980, *apud* Metha e Monteiro, 1994) a estrutura da zona de transição é entendida como: ao concreto ser compactado, forma-se um filme de água nas proximidades das partículas do agregado, esse filme de água ocorre mais facilmente próximo ao agregado do que longe dele, fazendo com que eleve o fator a/c consequentemente à essa relação elevada, os produtos cristalinos vizinhos dos agregados consistem em cristais grandes, formando então uma estrutura mais porosa que a matriz de pasta de cimento (Figura 10). Desse modo, os cristais em placa de hidróxido de cálcio tendem a se formar em camadas orientadas, e finalmente com o progresso da hidratação, o C-S-H pouco cristalizado e uma segunda geração de cristais menores de etringita e de hidróxido de cálcio começam a preencher esses espaços vazios entre os espaços reticulados criados pelos cristais grandes, aumentando a densidade e, consequentemente, a resistência da zona de transição.

Figura 10 - Poucos cristais de C-S-H proximo ao agregado, representando a porosidade e consequentemente a menor resistência

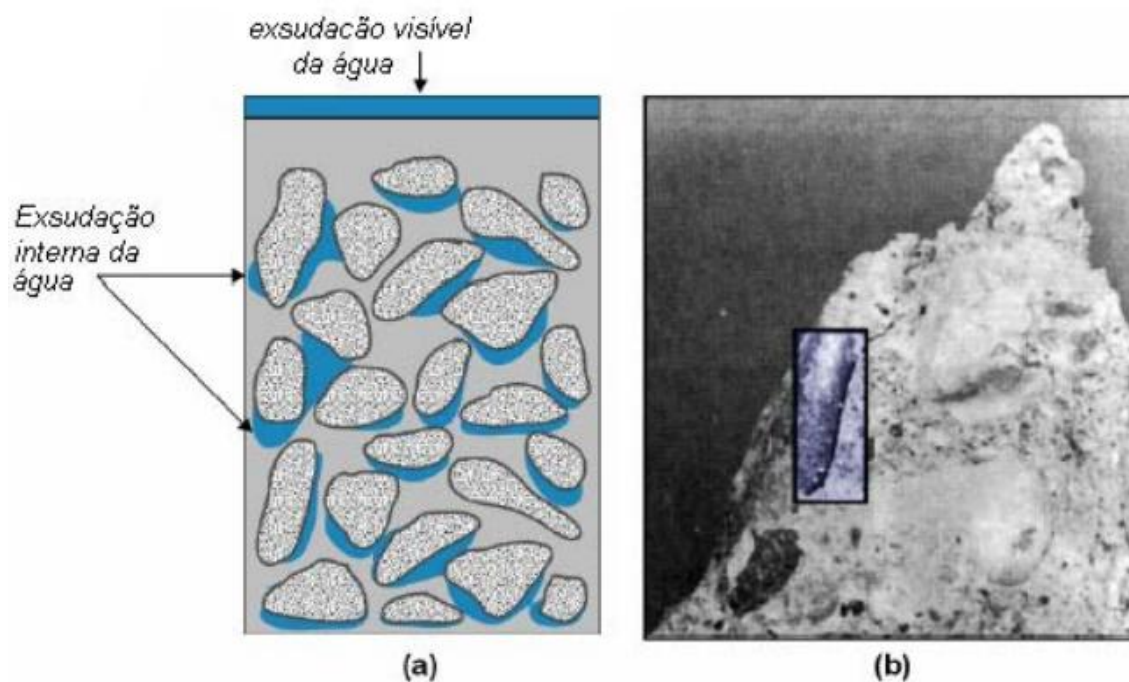


Fonte: Metha e Monteiro (1994)

Ainda de acordo com Metha e Monteiro (1994), a adesão entre os produtos de hidratação e a partícula do agregado ocorre pela ação de forças de atração de Van der Waals, dessa forma, a resistência da zona de transição em qualquer ponto advém do volume e do tamanho dos vazios presentes. Os autores ainda ressaltam, que mesmo com concretos com baixa relação a/c, nas primeiras idades, o volume e tamanho dos vazios na zona de transição serão maiores do que na matriz de argamassa, consequentemente a zona de transição é mais fraca.

Metha e Monteiro (1994) explicam que a água exsudada internamente tende a se acumular nas proximidades das partículas de agregado, grandes, alongadas e chatas. Desta forma, nessas regiões a zona de transição existente entre a pasta de cimento e o agregado tende a ser mais fraco, o que leva a ficar propensa à fissuração. Este fenômeno é responsável pela ruptura da aderência por cisalhamento na superfície da partícula do agregado, indicada na Figura 11.

Figura 11 - Fenômeno de água exsudada interna



Fonte: Metha e Monteiro (1994)

Por fim, de acordo com Paulon (2005, *apud*, Copetti, 2013), a zona de transição no concreto apresenta um comportamento anisotrópico, ou seja, ocorrem grandes concentrações de tensões nessa região quando o material é exposto a esforços. Portanto, as fissuras ocorreram primeiramente nessa região, sendo que a própria orientação dos cristais formados na zona de transição contribui para a propagação de fissuras.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

De modo a cumprir o que foi proposto nos objetivos geral e específicos, são descritos a seguir as características dos materiais empregados, além dos ensaios e processos metodológicos aos quais os concretos foram submetidos.

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

O presente trabalho, trata-se da moldagem de corpos de prova de concreto, com resistências de 20, 30, 40 e 50 MPa, para realização de ensaio de compressão axial, ensaio para determinação de absorção de água por capilaridade e módulo de elasticidade realizado na cidade de Cascavel – PR, no laboratório do Centro Universitário Assis Gurgacz, levando em consideração as normas pertinentes para os ensaios. Trata-se de uma pesquisa qualitativa e quantitativa, em que serão analisados diversos dados de acordo com normas pertinentes, visando verificar se o uso do aditivo impermeabilizante é compensatório ou não, frente às diferentes resistências quanto ao seu desempenho.

3.1.2 Traço de concreto empregado

Neste trabalho foi analisada a eficiência do aditivo impermeabilizante através da hidrofugação de seus poros capilares em quatro traços de concreto com resistências esperadas de 20, 30, 40 e 50 MPa. Foram moldados 96 corpos de provas, sendo 12 corpos de prova (CP) para cada traço estudado, dosado de acordo com a recomendação do fabricante, conforme Figura 12.

Figura 12 - Esquema para moldagem de corpos de prova



Fonte: Autor (2016)

Os traços utilizados são provenientes da curva de dosagem realizada por Peres (2013), conforme descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Traços utilizados

Resistência esperada	Traço	% Argamassa
20 MPa	1:3,40:4,60:0,67	49%
30 MPa	1:2,95:4,05:0,60	49 %
40 MPa	1:1,95:3,05:0,45	49 %
50 MPa	1:0,95:2,05:0,33	49%

Fonte: Autor (2016)

Tabela 3 - Dosagem dos materiais utilizados

Traço (MPa)	Consumo de Cimento (kg/m³)	Areia (kg/m³)	Brita (kg/m³)	Água (kg/m³)	Aditivo (kg/m³)
20	255,98	871,12	1173,16	174,19	2,56
30	288,07	856,09	1164,81	169,52	2,88
40	386,47	759,20	1176,85	171,14	3,86
50	576,73	548,38	1177,92	193,23	5,77

*OBS: Valores com umidade corrigida e aditivo 1% da massa do cimento.

Fonte: Autor (2016).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

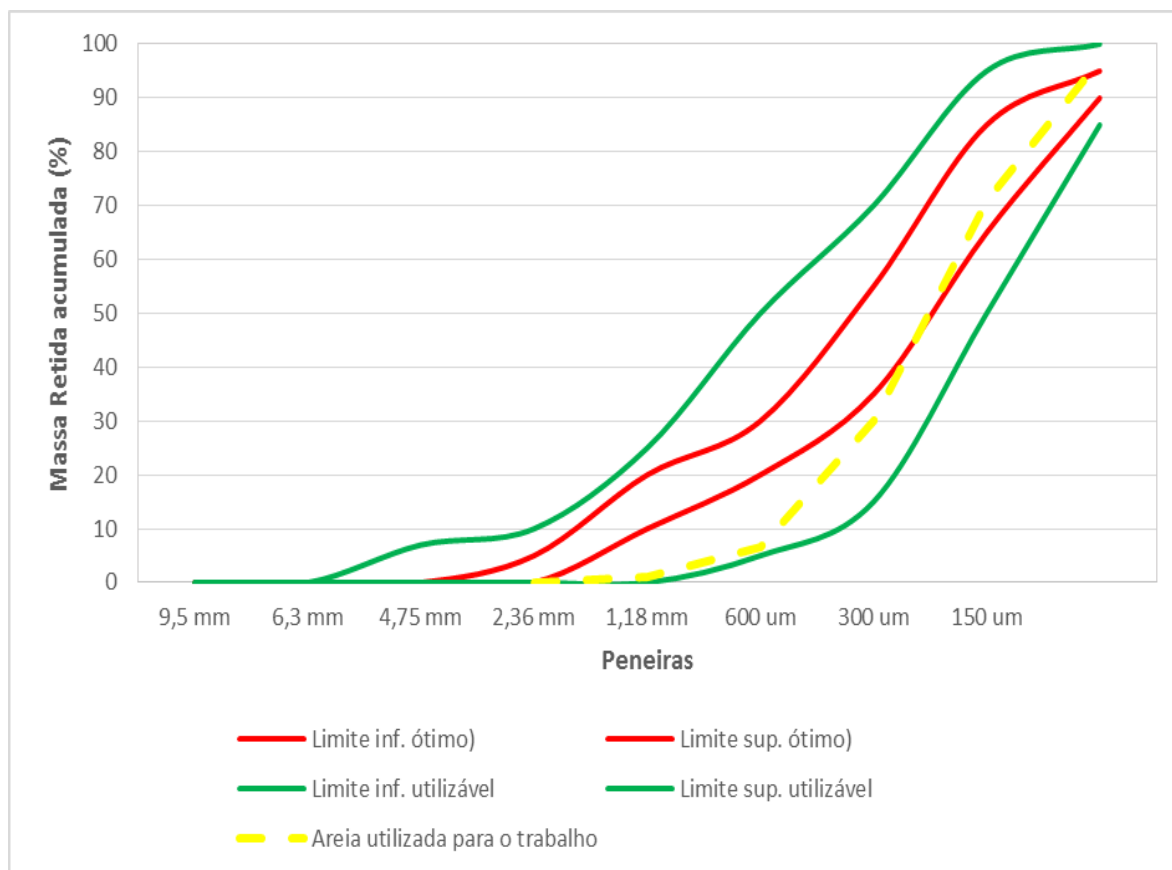
3.2.1 Cimento

O aglomerante hidráulico utilizado foi o cimento Portland com adição de Pozolana (CPII-Z-32), escolhido por ser mais utilizado na região, estando disponível no mercado. Suas características físicas e químicas respeitaram às recomendações da NBR 11578 – Cimento Portland composto – Especificação para ambos os traços (ABNT, 1991).

3.2.2 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos utilizados foram os grãos que passam pela peneira com abertura de 4,75 mm e ficaram retidos na peneira de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), sendo o agregado miúdo utilizado a areia natural, classificada como areia fina para media, conforme Figura 13.

Figura 13 - Granulometria do agregado miúdo utilizado



Fonte: Autor (2016)

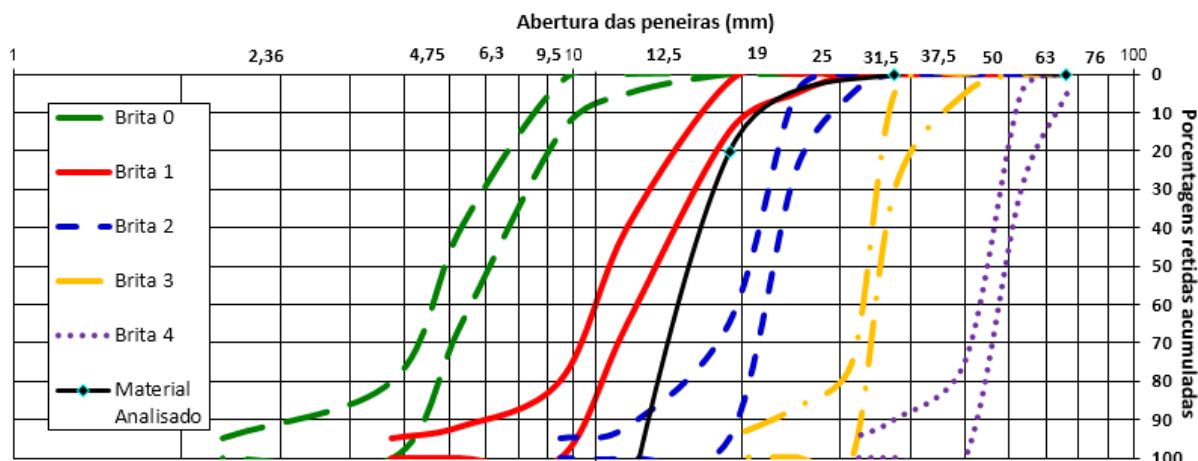
3.2.3 Agregado Graúdo

Os agregados graúdos utilizados foram os grãos que passaram pela peneira com abertura de 75 mm e ficaram retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003).

A composição granulométrica do agregado graúdo foi de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo que o agregado graúdo utilizado no traço referência de Peres (2013) esteve compreendido entre os limites da Brita 1.

Na Figura 14 apresenta-se a curva granulométrica do agregado graúdo utilizado neste trabalho.

Figura 14 - Gráfico da granulometria do agregado graúdo



Fonte: Autor (2016)

Verifica-se, portanto, na Figura 14, que o agregado graúdo utilizado se encontra entre a faixa dos limites para Brita 1 e Brita 2.

3.2.4 Água

A água utilizada no traço para a dosagem do concreto foi proveniente da rede de abastecimento de água da cidade de Cascavel – PR.

3.2.5 Aditivo

A marca do aditivo do tipo hidrofugante utilizado foi Vedacit, sendo que as propriedades referentes ao produto foram obtidas junto ao manual técnico do fabricante e no FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos).

Assim, o aditivo utilizado, segundo seu manual técnico, é um aditivo que impermeabiliza concreto e argamassa através da hidrofugação dos poros capilares, sendo uma emulsão pastosa branca.

Segundo a FISPQ do aditivo, seu uso recomendado para a mistura é como aditivo redutor de permeabilidade para concretos e argamassas, constituído por 0,05 a 0,1% de Ácido Oleico e 3 a 5% de Silicato de Sódio, com pH de 12 a 13, ponto de fulgor superior a 100 °C e densidade de 1,05 g/mL.

A dosagem utilizada neste trabalho será a recomendada pelo fabricante para concreto impermeáveis, sendo dosado 1% sobre a massa de cimento.

3.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

3.3.1 Preparo do concreto

O concreto foi preparado no laboratório de Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, sendo utilizado para o preparo do concreto: betoneira, recipientes para pesar os materiais, balança entre outros itens necessários.

Antes de iniciar a mistura dos traços foi realizada a imprimação da betoneira, seguindo a metodologia proposta por Helene e Terzian (1992), na qual propõe que se deve imprimir com uma porção de pelo menos 6 kg com traço 1:2:3 e fator $a/c=0,65$. Ainda o material excedente deve cair livremente, quando a betoneira estiver com a abertura para baixo e em movimento.

Após essa etapa, para cada traço foi dosado os materiais em massa e adicionados na betoneira na seguinte ordem:

- a) 100% do agregado graúdo;
- b) 1/3 da água;
- c) 100% agregado miúdo;
- d) 1/3 da água;
- e) 100% Cimento;
- f) Restante de água;
- g) Aditivo.

O tempo de mistura também foi padronizado, de forma a haver uma energia de mistura igual a todos, sendo o tempo de mistura de aproximadamente 4 minutos.

3.3.2. Consistência e Trabalhabilidade do concreto

Para verificar a trabalhabilidade do concreto, foi realizado o ensaio de

consistência pelo abatimento de tronco de cone, como rege a norma NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998),

O ensaio de consistência consiste em colocar um tronco-cone sobre a placa metálica bem nivelada, apoiando os pés nas abas inferiores do cone. Após, o cone foi preenchido com três camadas iguais, e aplicando 25 golpes uniformemente distribuídos em cada camada, cuidando para que a haste de adensamento não penetrasse a camada anterior.

Compactando a última camada, retirou-se o excesso de concreto e alisou-se a superfície com uma régua metálica, içando posteriormente, com cuidado, o cone na direção vertical.

Colocou-se a haste sobre o cone invertido e foi medida a distância entre a parte inferior da haste e o ponto médio do concreto.

3.3.3 Moldagem dos Corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi baseada nas prescrições da NBR 5738 - Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015). Os moldes cilíndricos possuem dimensões de 200 mm de altura por 100 mm de diâmetro.

Os moldes receberam previamente uma fina camada de óleo mineral internamente, de modo à facilitar a desfôrma.

3.3.4 Cura

A desfôrma dos corpos de prova foi realizada após 24 horas da concretagem e posteriormente os corpos de prova foram encaminhados para câmara úmida para o período de cura. Estes procedimentos respeitam a Norma NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto (ABNT, 2015).

Na câmara úmida, os corpos de prova foram mantidos em condições de temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e de umidade relativa maior que 95%, até as idades de

ensaio, as quais serão de 28 dias para o ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade.

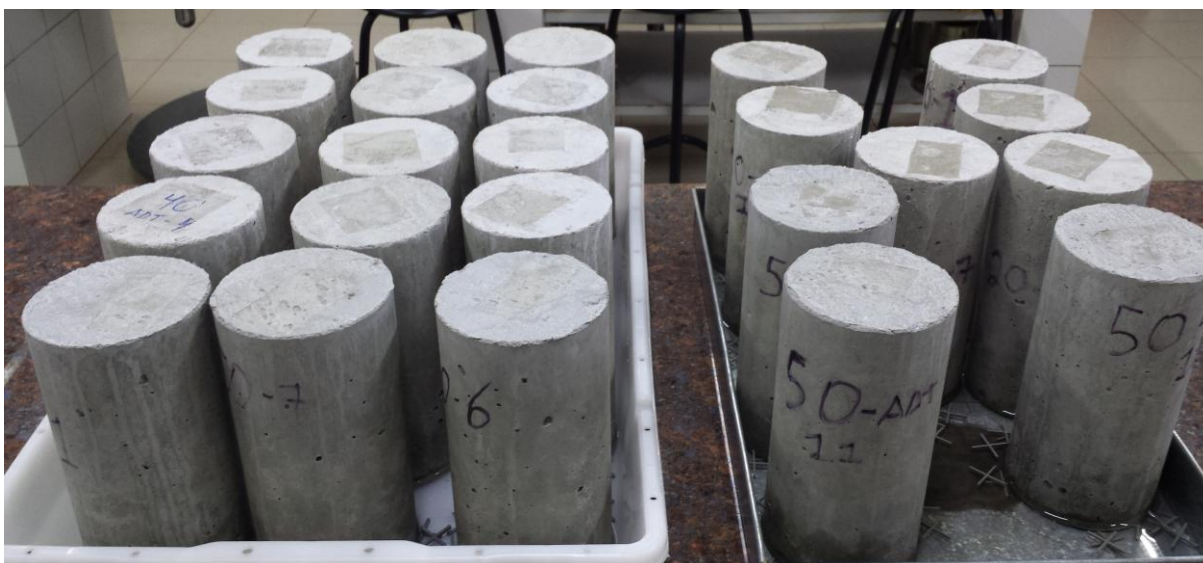
3.4 ENSAIOS REALIZADOS

3.4.1 Absorção De Água Por Capilaridade

Para o ensaio de capilaridade, seguiu-se os procedimentos da NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade (ABNT, 2012), efetuando o ensaio com 3 (três) corpos de prova de cada amostra curados aos 28 dias.

Primeiramente, os corpos de prova foram secos em estufa, com temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, até constância de massa. Na sequência foram pesadas a massa seca de cada um dos corpos de prova após resfriá-los e colocando-os em um recipiente, sendo sustentados por suportes, de modo que o nível de água permanecesse constante a (5 ± 1) mm acima de sua face inferior, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Ensaio de absorção de capilaridade



Fonte: Autor (2016)

Após essa etapa, foi realizada a leitura da massa dos corpos de prova com 3h, 6h, 24h, 48h, 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água.

Com os dados registrados foi possível determinar pela Equação 01 a absorção de água por capilaridade.

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (1)$$

Onde:

C: absorção de água por capilaridade (g/cm²);

m_{sat}: massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado (g);

m_s: massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23±2) °C (g);

S: área da seção transversal (cm²).

Após a conclusão deste ensaio foi realizado o ensaio de tração diametral conforme NBR 7222 - Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2011) para verificar a ascensão capilar dos corpos de prova.

3.4.2 Resistência Mecânica à Compressão

Foi realizado o ensaio de resistência mecânica à compressão para cada tipo de concreto estudado, conforme Figura 16, sendo que os mesmos foram rompidos na idade de 28 dias. O ensaio foi de acordo com a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 1994). A prensa utilizada é computadorizada da marca CONTENCO, modelo I-3058, com capacidade de 100 T, a qual permitiu o comando e monitoramento dos ensaios através de gráficos, gerados pelo *software* Pavitest.

Figura 16 - Ensaio de compressão axial no concreto



Fonte: Massa Cinzenta (2016)

Após realizado o ensaio, foi calculada a resistência à compressão em MPa de cada corpo-de-prova, conforme especificado na Equação 02.

$$F_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad (2)$$

Onde:

F_c: é a resistência à compressão, em megapascals;

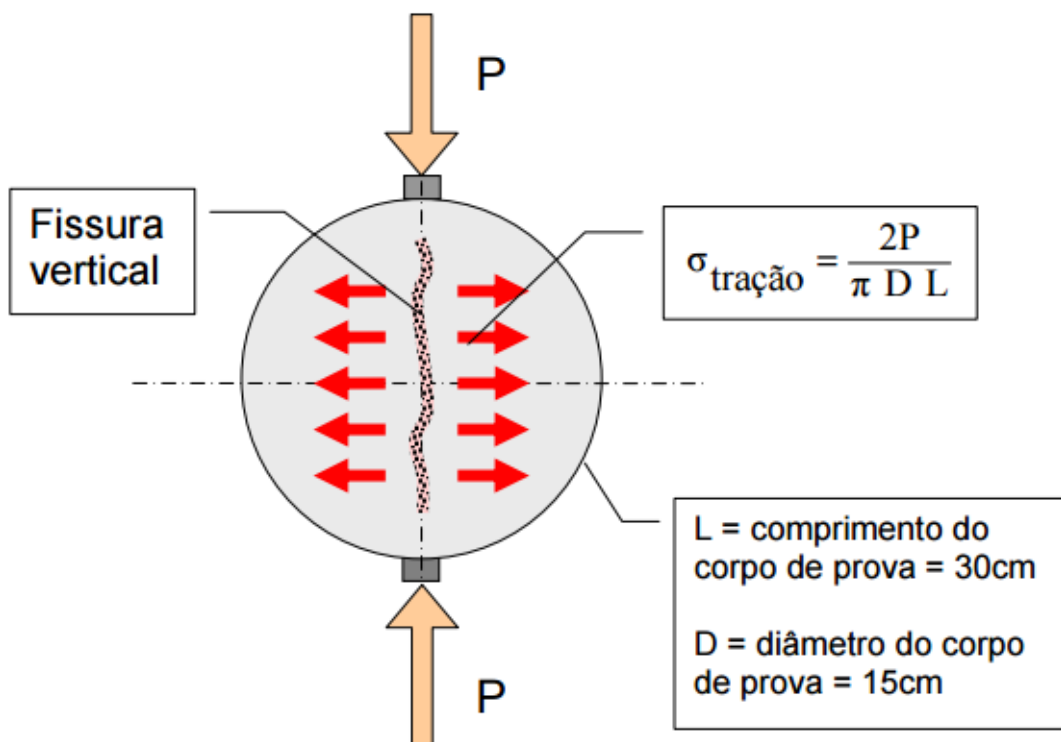
F: é a força máxima alcançada, em newtons;

D: é o diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros;

3.4.3 Resistência à Tração Por Compressão Diametral.

O ensaio foi determinado pela influência de duas forças de compressão distribuídas linearmente e diametralmente opostas, conforme Figura 17. Essas ações são fornecidas por uma prensa mecânica, gerando ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração uniformes perpendiculares até que ocorra à ruptura do corpo de prova por tração indireta. Este ensaio seguiu a NBR 7222 - Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2011).

Figura 17- Esquema de compressão diametral de corpos de prova.



Fonte: Nota de aulas IME – Prof. Eduardo C. S. Thomaz (2010)

Depois de realizado o ensaio, foi calculada a resistência à tração por compressão em MPa de cada corpo-de-prova, conforme especificado na Equação 3.

$$F_{ct,sp} = \frac{2 * F}{\pi * d * l} \quad (3)$$

Onde:

$F_{ct,sp}$: é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos, em megapascals (MPa);

F : é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N);

d : é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

l : é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

3.4.4 Módulo estático de elasticidade à compressão

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade foi realizado (Figura

18) pela metodologia A da NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (ABNT, 2008). A norma prescreve que o módulo de elasticidade é equivalente ao módulo de deformação traçado entre uma tensão a 0,5 MPa e a 30% da tensão de ruptura, isto é, o módulo de elasticidade é equivalente ao coeficiente angular da reta que une os pontos referentes a 0,5 MPa e 30% da tensão de ruptura, no diagrama tensão-deformação.

Figura 18 - Ensaio do módulo de elasticidade



Fonte: Autor (2016)

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

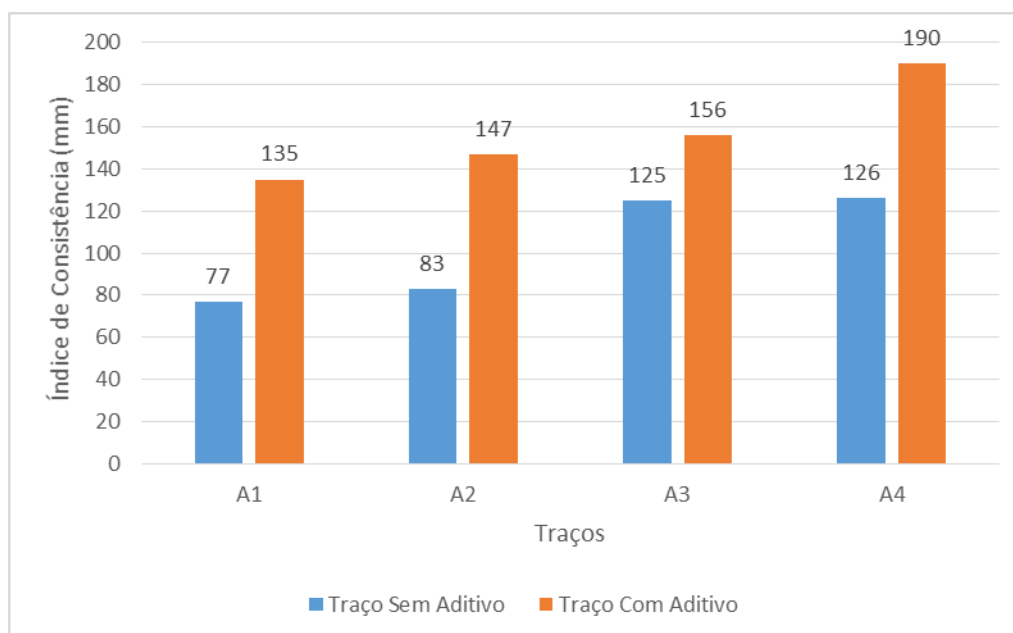
Foram abordados nesse capítulo os resultados obtidos com a realização dos ensaios, além das discussões a respeito desses resultados.

As identificações A1, A2, A3 e A4 apresentadas nas análises gráficas referem-se às resistências estudadas de 20, 30, 40 e 50 MPa, respectivamente.

4.1.1 Índice de Consistência

Os resultados de índice de consistência dos concretos, conforme NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998), pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 - Resultado do ensaio de índice de consistência dos concretos



Fonte: Autor (2016)

De acordo com a Figura 19, verificou-se, portanto, que o aditivo provocou alterações no índice de consistência dos concretos, sendo verificado que em média

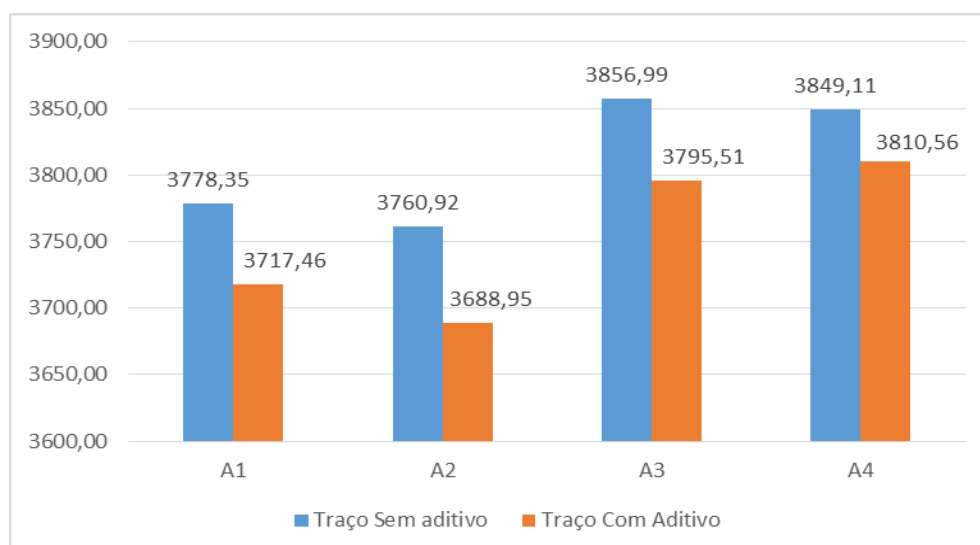
houve aumento de 54 mm no índice de consistência em relação ao traço sem aditivo, assim a menor e maior diferença no índice de consistência, obteve-se no traço A3 com 25% e A2 com 77% de variação, respectivamente.

Este aumento de fluidez pode ser explicado de maneira que o aditivo possui estado líquido, o que permite uma melhor lubrificação entre as moléculas e ainda segundo o FISQP do produto, possui em sua mistura o ácido oleico, sendo esse um ácido graxo de cadeia longa possuindo dezoito carbonos e uma instauração cis entre os carbonos 9 e 10 (Sander, 2010), se tornando um aditivo tensoativo que é empregado como incorporador de ar, estes que tem como efeito colateral a melhoria da trabalhabilidade (METHA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Neville (2015), o cimento denominado hidrófugo é conseguido pela moagem do cimento Portland com 0,1 a 0,4 % de ácido oleico, embora possam ser utilizados outros ácidos, sendo que a adição causa melhoria na moabilidade do clínquer, que para o autor se deve à prováveis forças eletrostáticas que resultam da orientação polar das moléculas do ácido na superfície das partículas de cimento. Assim, o mesmo acaba reagindo com os álcalis do cimento e formando oleatos de sódio e cálcio, que por sua vez criam espuma e causam um efeito incorporador de ar.

Na Figura 20 é possível verificar que a média da massa seca dos corpos de prova obtidas antes do ensaio de absorção capilar diminuiu nos traços com aditivo, justificado pelo provável efeito de ar incorporado que o aditivo promove.

Figura 20 - Média da massa seca dos corpos de prova



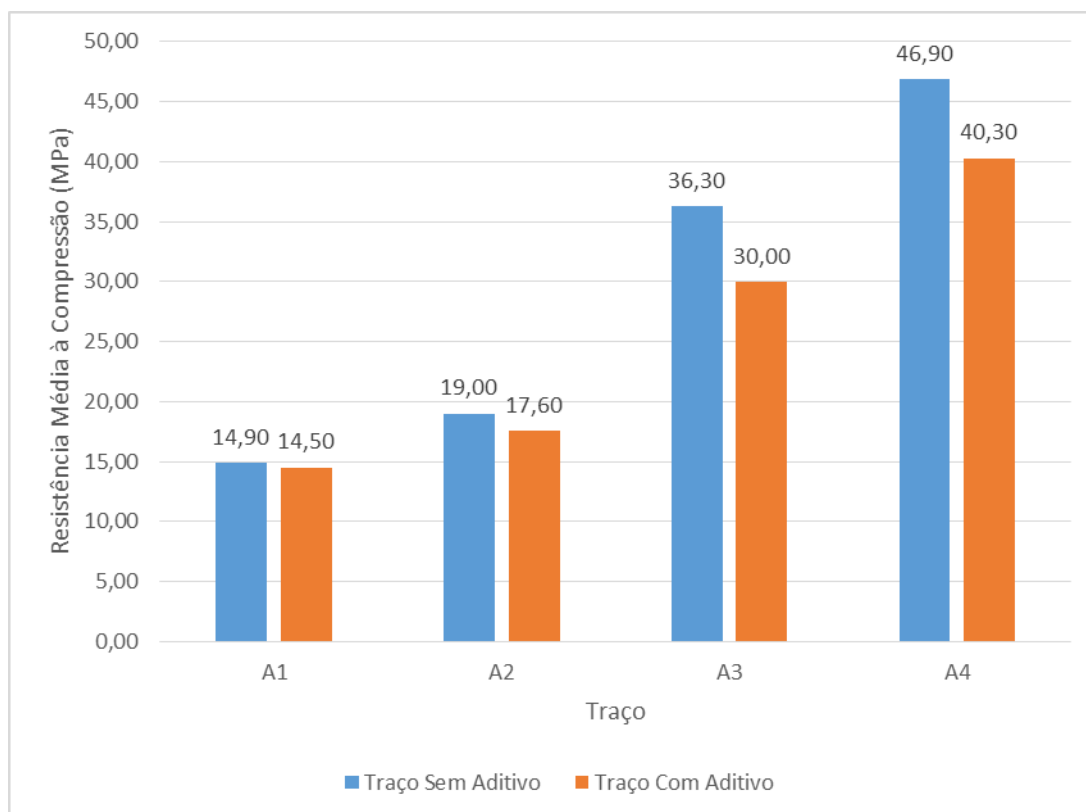
Fonte: Autor (2016)

Pela Figura 20 se conclui que houve incorporação de ar, já que todos os traços foram dosados com a mesma quantidade de material, diferindo apenas na inclusão de aditivo, este na taxa de 1% da quantidade de cimento, porém não se pode afirmar a porcentagem real de incorporação de ar, visto que não fora realizado ensaio específico neste estudo para obter tal informação.

4.2 Resistência à Compressão

Os resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão do concreto são apresentados na Figura 21, que relaciona às resistências médias à compressão das amostras testadas com e sem aditivo, considerando as diferentes resistências estudadas.

Figura 21 - Resultado da resistência média à compressão.



Fonte: Autor (2016)

Na Figura 21, verifica-se que as resistências esperadas não foram

alcançadas, estas que deveriam atingir aproximadamente 20, 30, 40 e 50 MPa para os traços A1, A2, A3 e A4, respectivamente.

Ainda, detecta-se que quando comparado ao traço de concreto sem aditivo, o traço A2 atingiu uma resistência 58% inferior à esperada, onde possivelmente, ocorreu erro na dosagem. Já o traço A1, A3 e A4 atingiram uma resistência inferior de 34%, 10% e 7% respectivamente.

Também na Figura 21, observou-se que as resistências médias dos concretos com o aditivo tiveram redução em relação ao traço sem aditivo, conforme previsto e descrito por Leonhardt e Mönning (1977), em que aditivos impermeabilizantes conduzem facilmente à perda de resistência.

Nesse caso, um dos motivos se deve ao ácido oleico presente na mistura do aditivo, que causa incorporação de ar, uma vez que o aditivo incorporador de ar torna as partículas de cimento hidrófobas, sendo que uma quantidade do excesso de aditivo pode causar um retardamento excessivo na hidratação e a quantidade de ar incorporado é acompanhado por uma perda de resistência correspondente (METHA; MONTEIRO, 1994).

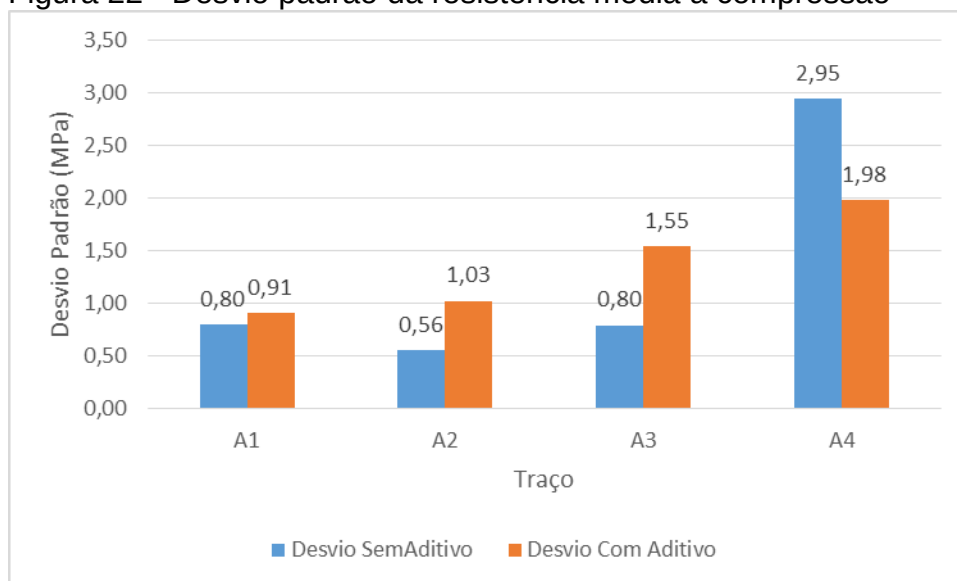
Quanto a variabilidade das resistências em relação ao emprego do aditivo, constatou-se que os traços A1, A2, A3 e A4 sem aditivo, obtiveram um respectivo aumento de resistência de 3%, 8%, 21% e 16%, respectivamente, quando comparado com os traços com aditivo.

Com base na Figura 21 e no parágrafo acima, depreende-se que o aditivo tende a causar uma redução de resistência mais significativa quanto maior for a sua resistência, pois de acordo com Metha e Monteiro (2008), a diminuição da resistência é mais intensa quanto maior for o consumo de cimento. Desta forma, concretos de baixo consumo de cimento sofrem reduções pequenas e podem até ganhar resistência. Isto é explicado pelo componente incorporador de ar, no qual causa como efeito colateral a melhoria da compacidade do concreto no estado fresco, resultando em uma melhor qualidade da zona de transição.

Ainda para Metha e Monteiro (2008), o ganho da resistência na zona de transição pode compensar a perda de resistência devido ao aumento na porosidade da pasta de cimento, principalmente para concretos de baixa qualidade.

Já na Figura 22, observam-se os valores de desvio padrão obtido no ensaio da resistência à compressão.

Figura 22 - Desvio padrão da resistência média à compressão



Fonte: Autor (2016)

Verifica-se, portanto, que conforme os resultados observados na Figura 22, os traços com aditivo, ao qual a dosagem do mesmo é variável em função do teor de cimento em cada traço, tiveram um desvio padrão maior nos traços A1, A2 e A3. Já no traço A4, observou-se um desvio padrão menor, quando comparado ao seu semelhante.

Assim, Helene e Terzian (1992) sintetizaram estudos de outros autores e explicitam alguns fatores intervenientes na resistência à compressão do concreto quanto à sua variabilidade, sendo: Variabilidade dos materiais constituintes (cimento, agregados, água, aditivos e proporção relativas dos mesmos), qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e misturas, além da eficiência das operações.

Ainda, os desvios padrões calculados, estão em conformidade com a condição de preparo do concreto empregada para a realização deste estudo, conforme a NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento (ABNT, 2015), conforme Figura 23.

Figura 23 - Desvio-padrão a ser adotado para concretos desconhecidos.

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão MPa
A	4,0
B	5,5
C	7,0

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015)

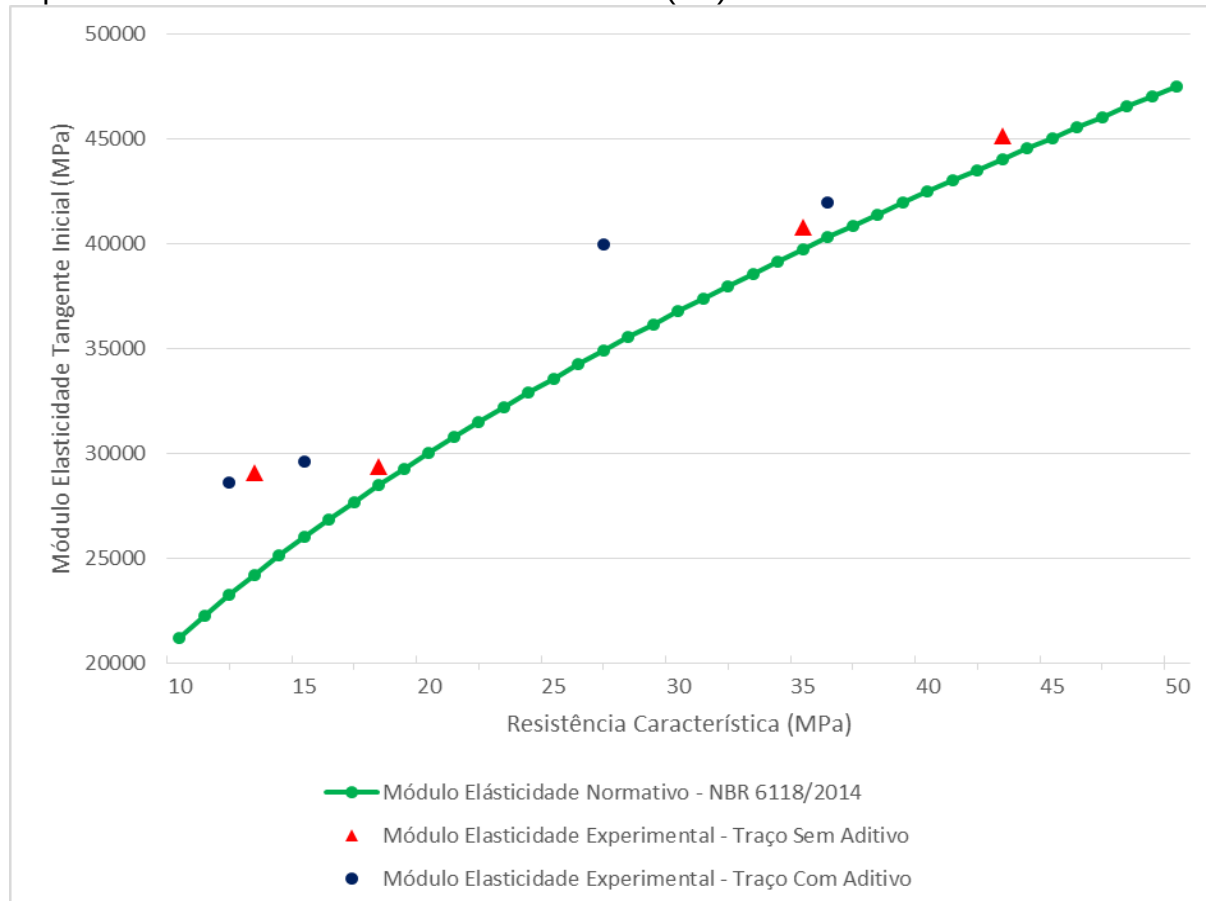
A Figura 23 se refere ao item 5.6.3.1 – Condições de preparo do concreto, descritos na norma citada, onde a condição de preparo do concreto “A” com desvio-padrão de 4 MPa, deve ser utilizado quando o cimento e os agregados forem medidos em massa, e a água de amassamento for dosada em volume ou massa com umidade corrigida.

Dessa forma, os desvios obtidos são razoáveis, sendo o traço “A4 sem aditivo” com o maior desvio padrão de todo o experimento, sendo este 2,95 MPa, estando portanto todos dentro da condição de preparo “A”.

4.3 Módulo de Elasticidade Tangente Inicial

Os resultados obtidos no ensaio do módulo de elasticidade são apresentados na Figura 24.

Figura 24 - Comparação do módulo de elasticidade normativo, com o módulo experimental versus resistência característica (f_{ck}).



Fonte: Autor (2016)

Para o gráfico da Figura 24, calculou-se a resistência característica (f_{ck}) de todos os traços a partir dos resultados obtidos no ensaio de compressão, seguindo a rigor o item: 6.2.3.2 Controle estatístico do concreto por amostragem parcial da NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento (ABNT, 2015) e, portanto, não foram levados em conta para o cálculo da resistência característica os resultados de compressão após a leitura dos dados das deformações no ensaio de módulo de elasticidade.

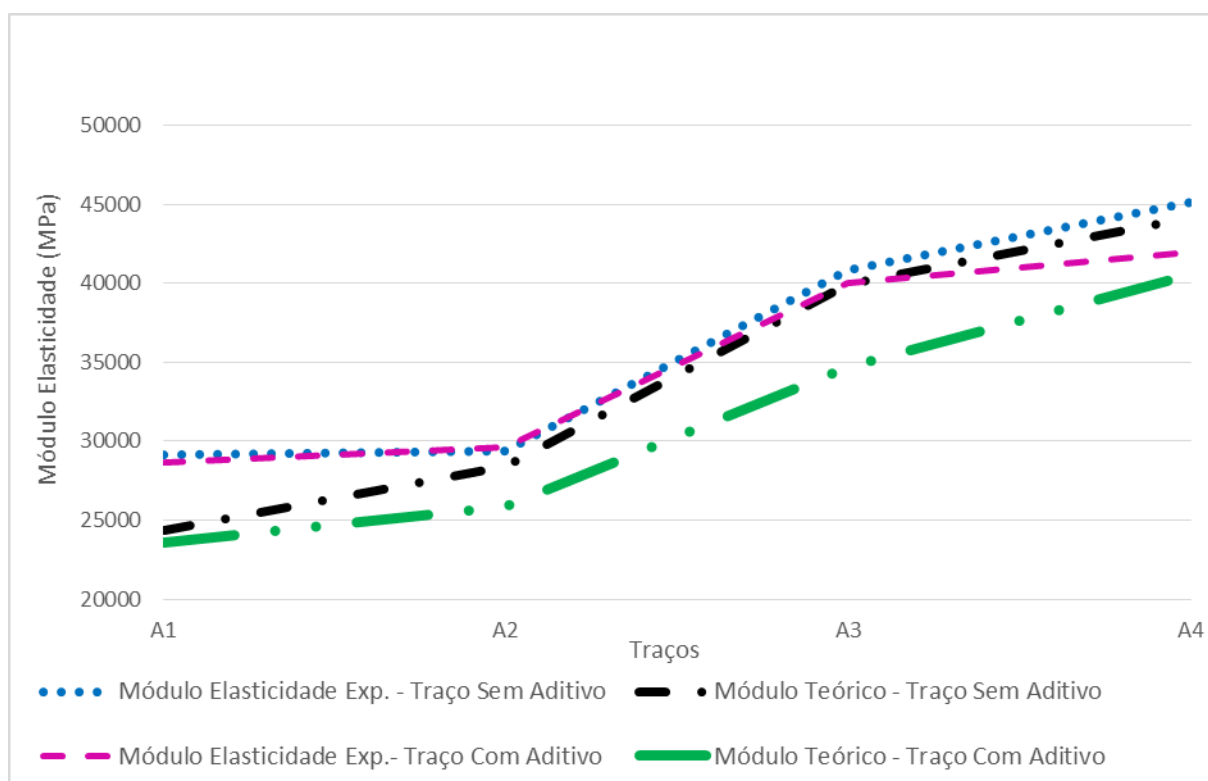
Assim, como é possível se verificar na Figura 24, o módulo de elasticidade tangente inicial experimental foi superior ao módulo teórico recomendado pela NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento (ABNT, 2014) (Equação 4), este com o devido ajuste do parâmetro que leva em função a natureza do agregado na qual influencia o módulo de elasticidade, sendo para tal $\alpha E = 1,2$ (basalto).

$$E_{ci} = \alpha E * 5600 * \sqrt{F_{ck}} \quad (4)$$

Ressalta-se que nesse ensaio foram testados 3 corpos de prova, porém nos traços A1 com aditivo e A4 com aditivo, descartou-se 1 corpo de prova da análise de cada traço, devido à impossibilidade de realizar o ensaio a rigor, conforme a prescrição da NBR 8522 - Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (ABNT, 2008). Isto ocorreu pela falha do *software* da prensa, essa por ser computadorizada e, portanto possuir em seu *software* a metodologia de operação já predefinida e que durante o ensaio não conseguiu atingir em algum estágio a carga necessária para leitura da deformação.

Ainda de forma a complementar e ilustrar melhor os resultados obtidos, a Figura 25 que demonstra um comparativo entre módulo de elasticidade da norma e o experimental.

Figura 25 - Comparativo entre módulo elasticidade normativo versus experimental.



Fonte: Autor (2016)

Na Figura 25, verifica-se que para os traços com aditivo o módulo de elasticidade experimental teve um razoável aumento quando comparado ao módulo teórico para o traço com aditivo. Também é possível perceber que apesar de o aditivo conduzir resistências à compressão menor, os traços com e sem aditivo, os módulos de elasticidade se mantiveram próximos, indicando assim que o aditivo causa pouca influência no módulo de elasticidade.

Porém Helene (1998) ressalta que o módulo de elasticidade dos concretos é uma variável sujeita a dispersão dos resultados. Assim, o mesmo aconselha que não seja conveniente julgar o concreto sem um conjunto grande de resultados representativos da população.

Helene (1998) ainda cita que o módulo de elasticidade é muito sensível a composição do traço, mesmo mantendo os mesmos materiais empregados. Sendo assim, a resistência à compressão é apenas uma das variáveis que interferem nos resultados, e as propriedades e relações das outras partes constituintes do concreto como a natureza dos agregados graúdos e a pasta / argamassa / agregados graúdos respectivamente tem muito mais influência que a resistência à compressão.

De Marchi (2011) também conclui em seu trabalho que pelo fato do módulo de deformação do concreto ser uma função da resistência à compressão, obedece a uma distribuição probabilística, e, portanto não se pode atribuir à propriedade uma característica determinística, correndo o risco de não atendimento em grande parte dos casos, já que existe certa probabilidade no não atendimento do valor especificado quando utilizado o modelo empírico proposto pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

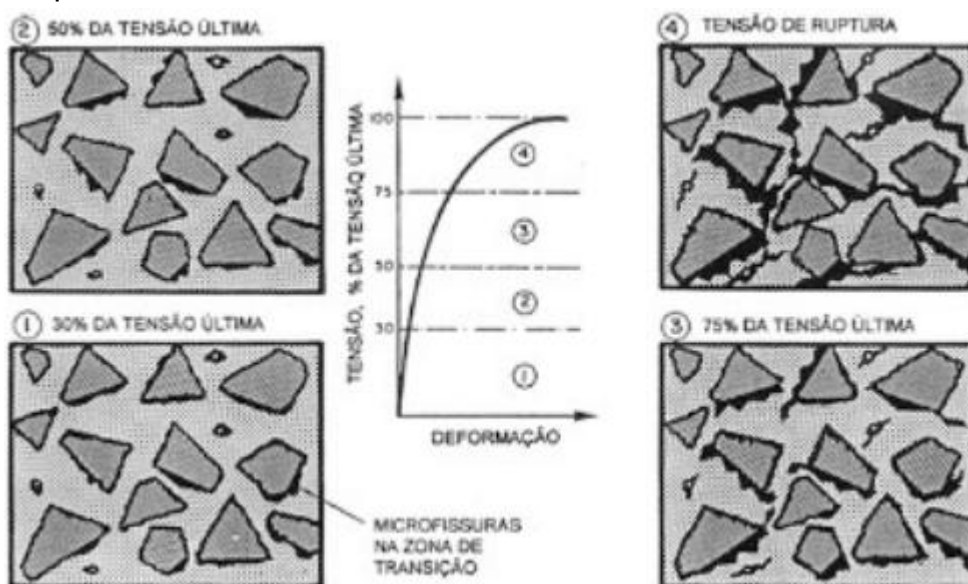
Dessa forma, não se pode afirmar o motivo pelo qual o módulo de elasticidade dos traços com aditivo se manteve muito próximo dos módulos de elasticidade dos traços sem aditivo, sem melhores estudos sobre tal assunto. Porém, levantam-se duas hipóteses, sendo uma delas o aditivo na presença do traço e a outra, a consistência mais fluida nos traços com aditivo, este pelo qual decorre no efeito colateral do mesmo. A primeira delas, pelo fato do aditivo Vedacit possuir em sua FISPQ uma mistura de Silicato de Sódio, sendo que de acordo com Oliveira e Tula (2002), o silicato de sódio foi um aditivo químico muito usado como endurecedor de superfície de pisos de concreto, ou seja, por meio de um mecanismo de troca iônica estes penetram nos poros capilares e nos poros de gel da pasta de cimento e reagem, em especial, com o hidróxido de cálcio. Tal comportamento facilita a formação de cristais menores e de elevada dureza, além de uma maior estabilidade química no interior, resultando em aumento de dureza superficial e consequentemente maior resistência abrasão, além de uma menor permeabilidade.

Porém, ainda de acordo com Oliveira e Tula (2002), os silicatos não possibilitam a produção de cristais de dureza elevada e agem com baixo poder de penetração, formando um filme superficial com vida útil limitada ao tempo de deterioração desse filme. Além do uso de silicatos como endurecedores, onde os mesmos reagem com o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera, formando carbonato de sódio, um sal instável e solúvel em água. Este sal instável e solúvel em água foi verificado durante a cura dos corpos de prova na câmara úmida, sendo possível verificar um pó branco externamente ao corpo de prova, sendo esse fenômeno denominado eflorescência.

Assim, uma das hipóteses pela pequena diferença entre os dois módulos experimentais pode estar ligada ao silicato de sódio, que promoveria uma quantidade de cristais ao redor da zona de transição com dureza mais elevada e certa estabilidade química, o que compensaria o ar incorporado no caso de

carregamentos até $0,3 f_c$ (metodologia do módulo de elasticidade). A figura 26 ilustra melhor tal hipótese.

Figura 26 - Representação do comportamento tensão–deformação sob compressão simples

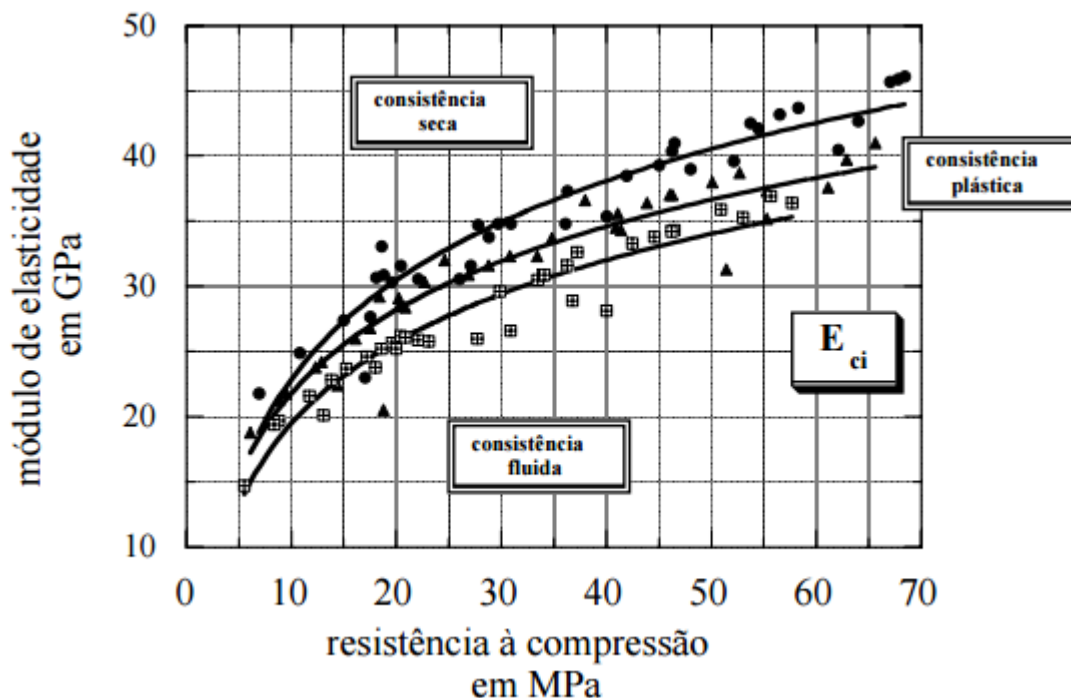


Fonte: Metha *et al* (2006, apud Santos *et al*, 2013)

De acordo com a figura 26 e com Santos *et al* (2013), quem sofre inicialmente a maior deformação é o agregado. Por ser mais rígido, ele absorve quase todo carregamento, e a medida que o agregado se deforma, este transfere parte do carregamento para a pasta de cimento, a qual começa a se destacar do agregado. Assim, pelo módulo de elasticidade ser realizado leituras com carga de $0,5 \text{ MPa}$ e $0,3 f_c$, seria uma explicação pela baixa alteração.

Também poder-se-ia levantar como hipótese a consistência mais fluida, já que esta melhora a zona de transição, porém, conforme estudos, a consistência mais fluida afeta negativamente o módulo de elasticidade, como visto na Figura 27, que demonstra módulo de elasticidade com diferentes consistências e idades variando de 3 dias a ano.

Figura 27 - Correspondência entre módulo de elasticidade inicial, E_{ci} , com a resistência a compressão dos concretos de mesmos materiais



Fonte: Helene (1998)

Com base na figura 27, Helene (1998) verificou que houve uma diminuição do módulo quanto mais fluida for a consistência, tanto que propôs coeficientes de ajuste para o tipo de consistência para normalização. Apesar disso, não foram encontrados estudos explicando os possíveis motivos da variabilidade do módulo e, para tanto apenas são hipóteses que carecem de comprovação em outros estudos.

4.4 Ascensão Capilar

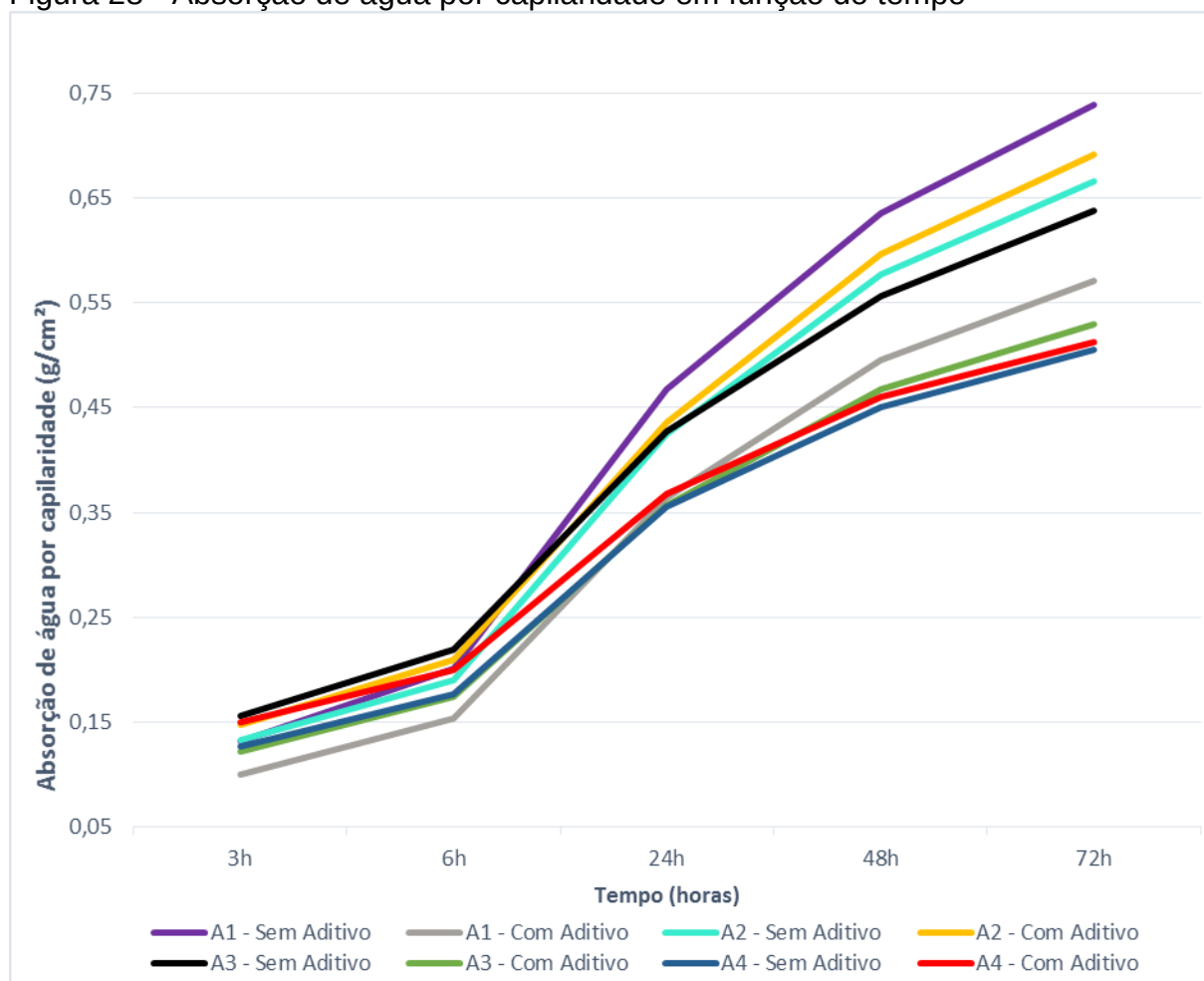
Os resultados de absorção de água por capilaridade média dos concretos podem ser observados na Tabela 3 e na Figura 28.

Tabela 4 - Absorção por capilaridade

Concreto / argamassa	Absorção por capilaridade (g/cm ²)					
	3 h	6 h	24 h	48 h	64 h	Total
A1 - Sem adt.	0,13	0,20	0,47	0,64	0,74	2,17
A1 - Com adt.	0,10	0,15	0,36	0,50	0,57	1,68
A2 - Sem adt.	0,13	0,19	0,42	0,58	0,67	1,99
A2 - Com adt.	0,15	0,21	0,44	0,60	0,69	2,08
A3 - Sem adt.	0,16	0,22	0,43	0,56	0,64	2,00
A3 - Com adt.	0,12	0,17	0,36	0,47	0,53	1,65
A4 - Sem adt.	0,13	0,18	0,36	0,45	0,51	1,61
A4 - Com adt.	0,15	0,20	0,37	0,46	0,51	1,69

Fonte: Autor (2016)

Figura 28 - Absorção de água por capilaridade em função do tempo



Fonte: Autor (2016)

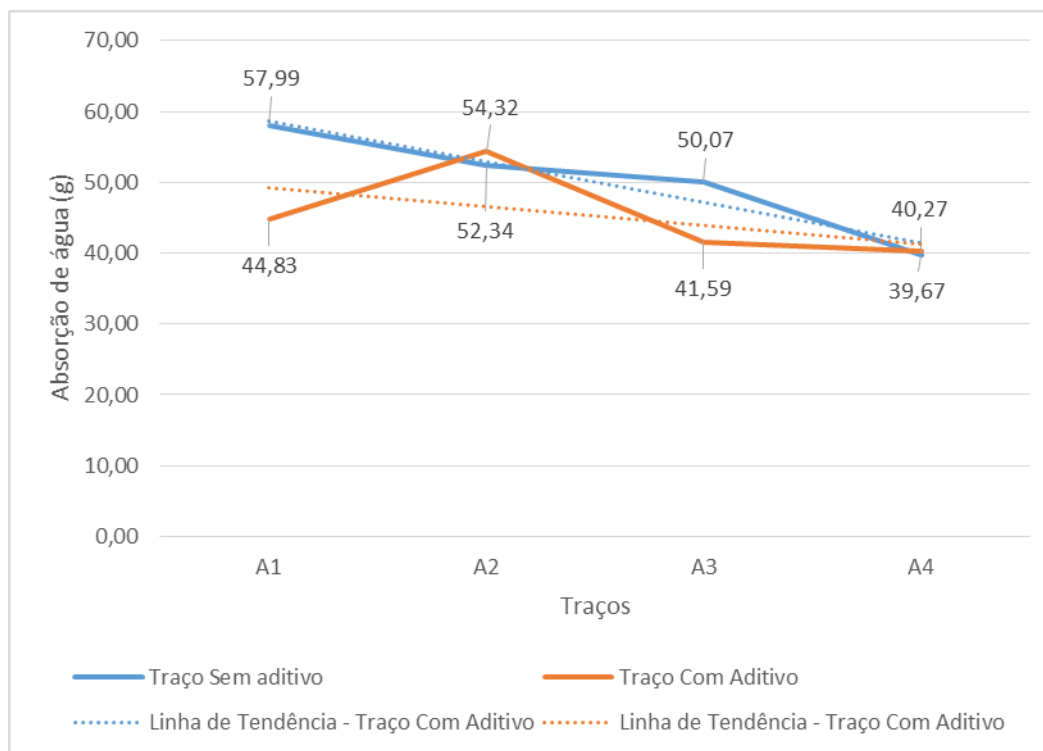
Através da Figura 28 e Tabela 3, observou-se que o traço A1 com aditivo houve uma melhora significativa quando comparado ao mesmo traço sem aditivo. Já o Traço A2 com aditivo houve uma piora com seu respectivo par, este traço que possivelmente ocorreu erro de dosagem e pode-se levantar como hipótese o teor de a/c maior que o previsto na dosagem, pois, como houve aumento da absorção, conduz ao que se esperava, ou seja, provavelmente este concreto se apresentou mais poroso.

Já o traço A3 com aditivo, também apresentou uma melhora significativa na absorção de água por capilaridade, quando comparado ao seu semelhante e, por fim, o traço A4 sem aditivo teve um desempenho minimamente melhor que quando comparado ao concreto com aditivo.

Esse comportamento pode ser explicado pelos estudos realizados por Wong *et. al.* (2001, *apud* Coppeti 2013), onde mostraram que para uma mesma relação água/cimento, a incorporação de ar tem efeitos variáveis. Assim, na condição não saturada, os exemplares com produto químico para incorporação de ar apresentaram resultados melhores quanto a absorção por capilaridade e condutividade elétrica. Portanto, a redução na absorção se explica pelo fato dos poros de ar incorporado exercer menores pressões capilares e consequentemente demorarem mais tempo para se saturarem.

A Figura 29 demonstra a absorção de água total, apresentado em gramas, durante o tempo de ensaio, que foi de 72 horas.

Figura 29 - Absorção de água total durante 72 horas de ensaio



Fonte: Autor (2016)

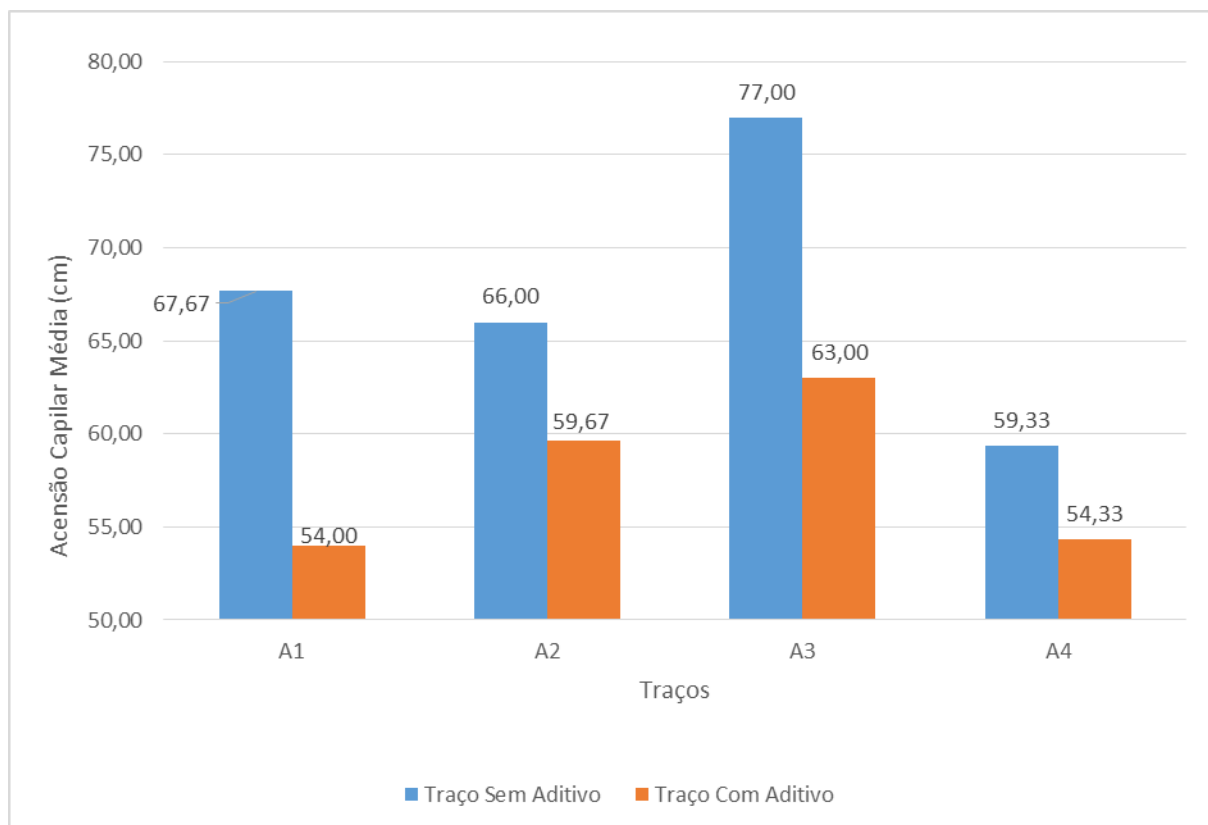
De acordo com a Figura 29, observou-se que o aditivo empregado neste estudo diminui a absorção de água mais significativamente quanto menor for a resistência, porém quanto maior for a resistência essa absorção deixa de ser significativa e tende a ter uma absorção aproximadamente igual com o uso de aditivo. Desta forma, o traço A4 de maior resistência, apresentou uma variação de 0,6 gramas.

4.4.1 Ascensão Capilar Externa

Os resultados coletados da ascensão capilar foram externos e não internos, conforme prescreve a NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade (ABNT, 2012) isto por que em alguns corpos de prova não ficou claro até onde houve ascensão de água por capilaridade nos mesmos, devido às várias tonalidades dos concretos. Apesar de o processo de secagem ter sido realizado de acordo com o padrão normativo, essas variações de tonalidades também se apresentaram no estudo de Copetti (2013).

Desta forma, achou-se mais plausível e seguro representar os dados da ascensão capilar externa, conforme dados apresentados na Figura 30.

Figura 30 - Ascensão capilar média externa no corpo de prova.



Fonte: Autor (2016)

Pode-se concluir a partir da Figura 30, que a ascensão capilar tende a diminuir em traços sem aditivo com o crescimento da resistência à compressão do corpo de prova, de tal forma que este fica menos poroso. Já nos traços com aditivo, percebe-se uma melhoria na ascensão capilar, quando comparada com a ascensão capilar do traço sem aditivo, sendo que esta tende a ser menos significativa quanto maior a resistência.

4.4.2 Resistência à tração por compressão diametral

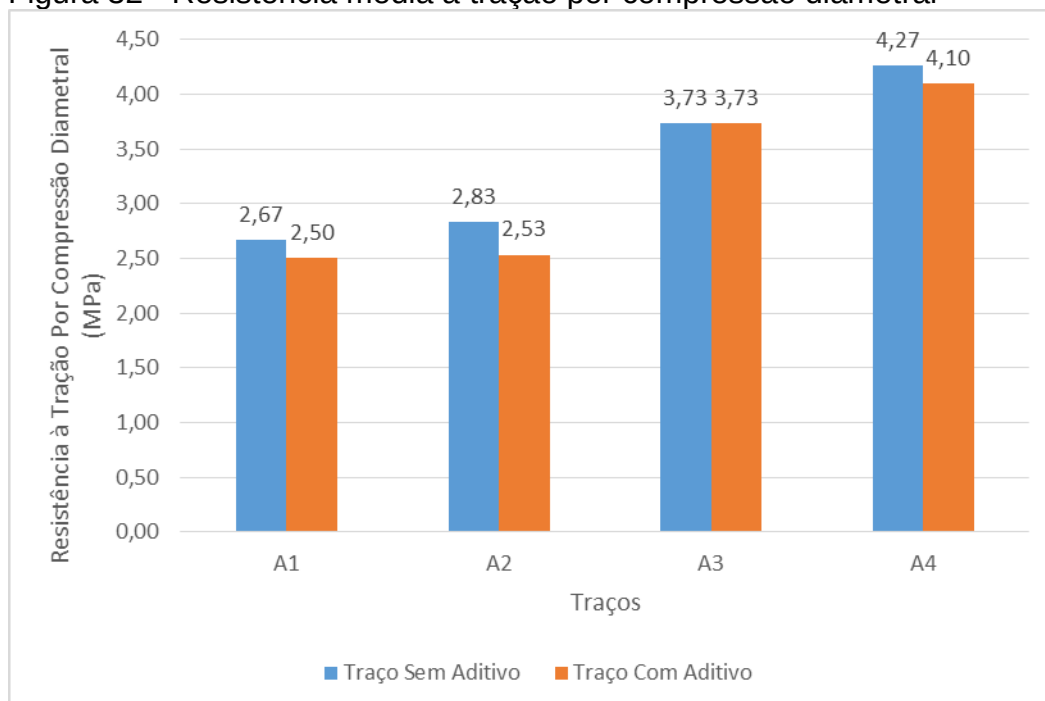
A Figura 31 que ilustra o ensaio de resistência à tração por compressão diametral após a realização do ensaio de absorção capilar, e na Figura 32 se apresenta a média dos valores obtidos a partir do ensaio.

Figura 31 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autor (2016)

Figura 32 - Resistência média à tração por compressão diametral



Fonte: Autor (2016)

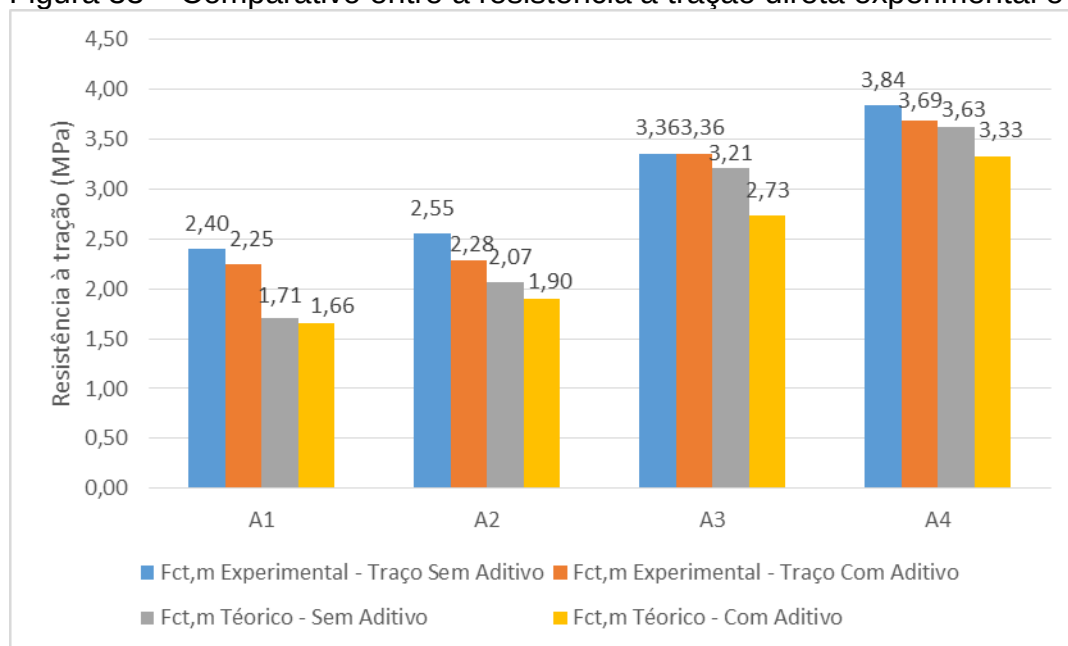
Na Figura 32, analisa-se que a resistência à tração por compressão diametral reduziu quando empregado o traço com aditivo, exceto no traço A3 que se manteve igual.

A redução de resistência na tração pode ser explicada pela redução da resistência do concreto com o emprego de aditivo, em que as resistências à tração e à compressão estão relacionadas entre si, porém, não se tem uma proporcionalidade direta. Ao passo que a resistência à compressão do concreto aumenta, a resistência à tração também aumenta, mas a uma velocidade decrescente (METHA E MONTEIRO, 1994).

Na Figura 33 apresenta-se o comparativo entre a resistência a tração experimental e teórica, esta última calculada de acordo com a Equação 5, sugerida pela NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento (ABNT, 2014). Resalta-se que o gráfico apresentado na Figura 33 os resultados obtidos no ensaio experimental para resistência a tração por compressão foram multiplicados por 0,90 (minorados) de acordo com a recomendação da NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento (ABNT, 2014), para ser possível realizar tal comparativo com $f_{ct,m}$ da norma citada, onde a equação da norma faz referência a resistência a tração direta.

$$F_{ct,m} = 0,3 * f_{ck}^{2/3} \quad (5)$$

Figura 33 – Comparativo entre a resistência à tração direta experimental e teórica



Fonte: Autor (2016)

Desta forma, na Figura 33 conclui-se que todos os traços alcançaram resistências superiores das recomendadas pela equação para estimativa da NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento (ABNT, 2014).

Já na Figura 34, apresenta-se o desvio padrão do ensaio de resistência à tração na compressão diametral.

Figura 34 - Desvio padrão do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autor (2016)

Observa-se na Figura 34 que o desvio padrão do traço A1, A2 e A3 com aditivo foram inferiores quando comparado ao traço sem aditivo. Apenas o traço A4 teve comportamento diferente desses últimos 3.

Ressalta-se ainda que, tanto os resultados de resistência à tração por compressão diametral e seu respectivo desvio padrão, tem como intuito neste trabalho elucidar resultados aproximados, pois os mesmos não podem representar fielmente o resultado real considerando apenas o ensaio à tração, visto que os corpos de prova para este ensaio derivam do ensaio de absorção de capilaridade, onde os mesmos foram secados em uma estufa a 105°C, processo ao qual recebe críticas no trabalho de Nepomuceno (2005) e Ismail *et. al.* (2013), pois esta temperatura pode danificar a microestrutura do concreto, e, portanto os autores

recomendam temperaturas por volta de 60°C para evitar a microfissuração, além de serem levados a absorção capilar e, após, o rompimento.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho, conclui-se que o aditivo hidrofugante está de acordo com uma das funcionalidades propostas, a qual é diminuir a ascensão capilar, porém, ressalta-se que os ensaios foram realizados em concreto jovem e sob condições de laboratório, sendo necessário a realização de estudos a longo prazo (5 anos ou superior), sobre seu desempenho conforme indica Neville (2013).

Apesar de obter tal funcionalidade proposta, observou-se que este prejudicou significativamente a resistência a compressão e, em menor escala, a resistência à tração e o módulo de elasticidade, por um de seus componentes químicos causar efeito de incorporação de ar.

Além disso, apesar da ascensão capilar ter sido menor em todos os traços, notou-se que a absorção de água em gramas ou g/cm² no traço A2 e A4 com e sem aditivo se aproximaram, somente no traço A1 e A3 que houve uma mudança mais significativa de absorção de água, assim, pode-se concluir que o aditivo evita a ascensão capilar, porém não evita a quantidade de água absorvida de forma eficaz, resultando provavelmente em um fator variável no qual ocorre a saturação dos poros ocasionados intencionalmente pelo aditivo.

Por fim, como apresentado, o aditivo teve um desempenho sobre o bloqueio de água capilar melhor para resistências menores, o que deixou de ser significativo para resistências maiores, sendo plausível que se realize um estudo antes da utilização do aditivo, verificando custos/benefícios do aditivo empregado e também de um possível aumento do fck do concreto (resistência característica), tendo em vista que esta causa melhorias em todas suas propriedades.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em consonância com os resultados obtidos neste trabalho, destacam-se algumas linhas de investigação futuras que aprofundam alguns aspectos estudados e outras que complementam o trabalho desenvolvido

- Verificar se o mesmo aditivo causa um aumento de resistência à abrasão conforme proposto por autores no trabalho, verificar a influência entre a aderência do concreto e uma barra de aço, verificar o tempo de pega e a porcentagem de ar incorporado;
- Comprovar o desempenho de outros aditivos hidrofugantes e/ou impermeabilizantes no mercado;
- Realizar os mesmos ensaios com o aditivo, porém com outros tipos de cimentos, como o cimento de escoria ativada, neste caso, verificando se o desempenho causado pela reação da escoria ativada com o silicato de sódio presente no aditivo.

REFERÊNCIAS

AQUINO JUNIOR, D. J. de. **Controle da qualidade no uso do concreto: Linha 2 – Metrô de São Paulo**. 2009. TCC – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11578** – Cimento Portland composto - Especificação. 1991.

_____. **NBR 11768** – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. 2011.

_____. **NBR 12655** – Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. 2015.

_____. **NBR 5738** – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2015.

_____. **NBR 5739** – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2015.

_____. **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 2014.

_____. **NBR 7211** – Agregados para concreto - Especificação. 2009.

_____. **NBR 7222** – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. 2011.

_____. **NBR 8522** – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. 2014.

_____. **NBR 9779** – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. 2011.

_____. **NM 248** – Agregados: Determinação da composição granulométrica. 2003.

_____. **NM 67** – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1998.

ATKINS, P.W. **Físico-química**. V. 1. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

COPETTI, S. K. **Concreto com ar incorporado: Avaliação da durabilidade frente a agentes agressivos e absorção de água**. 2013. TCC – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre.

DE MARCHI, R. D. **Estudo sobre a variabilidade do módulo de deformação do concreto associada a fatores intrínsecos à produção do material**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Equipe de Furnas. Laboratório de Concreto. **Concretos**: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo. Departamento de apoio e controle técnico; editor Walton Pacelli de Andrade. São Paulo: Pini, 1997.

FONSECA, G. C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FUSCO, P.B. **Tecnologia do concreto estrutural: Tópicos aplicados**. São Paulo: Pini, 2008.

HELENE, P. R. L. **Estudo da variação do módulo de elasticidade do concreto com a composição e características do concreto fresco e endurecido**. 1998. Relatório para ABCP: Disponível em <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/11/Relat%C3%B3rio.pdf>> Acesso em: 04 out. 2016.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992 (co-edição do SENAI).

IISMAL, I.; BERNAL, S.A.; PROVIS, J. L; NICOLAS, R. S.; BRICE, D. G.; KILCULLEN, A. R.; HAMDAN, S.; DEVENTER, J.S.J. van. **Influence of fly ash on the water and chloride permeability of alkali-activated slag mortars and concretes**. Construction and Building Materials, Amsterdam, v. 48, n. 1. 2013.

LEONHARDT, F.; MÖNNING E. **Construções de concreto, volume 1: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.

LORENZETTI, U. V. **Avaliação de características associadas à durabilidade de concreto em função da dosagem e do tipo de cimento**. 2002. Dissertação (Mestrado Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MC-Bauchemie. **Manual técnico – Construction Chemicals**. 2014. Disponível em <http://www.mc-bauchemie.com.br/wp-content/uploads/2013/12/manual-cc-2014_web.pdf>. Acesso em 11 jun. 2016.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994
_____. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2008.

MELLO, L. S. L. **Impermeabilização – Materiais, procedimentos e desempenho**. 2005. TCC – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

NEPOMUCENO, A. A. **Mecanismo de transporte de Fluidos no Concreto**. In: **ISAIA, G.C, (Ed.) Concreto: Ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005. p. 793-827.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 Ed. São Paulo: Pini, 1997.
_____. **Propriedades do concreto**. 5 Ed. São Paulo: Bookman, 2015.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. Ed. Porto Alegre: Brookman, 2013.

OLIVEIRA, P. S. F; TULA, L. **Como construir: Tratamento superficial de pisos de concreto com endurecedores químicos**. Notícias - Construção PINI. 2002. Disponível em <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/como-construir-tratamento-superficial-de-pisos-de-concreto-com-endurecedores-80886-1.aspx>> Acesso em: 05 out. 2016.

PÁSCOA, L. S. F. **Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico Lisboa.

PERDRIX, A; DEL CARMEN, M. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. Pini: São Paulo, 1992.

PERES, M. V. N. N. **Comportamento do concreto com adição de fibras de aço de pneu para aplicação em pisos industriais. Tese de Doutorado – Exame de qualificação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2013.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de Cimento Portland**. 13. Ed. São Paulo: Globo, 1998.

RAMACHANDRAM, V. S. **Concrete admixtures handbook – Properties, Science and technology**. New Jersey: Noyes Publications, 1984.

Revista de Engenharia e Tecnologia. V.5 nº2. Agosto de 2013 Revista Equipe de Obra. **Obras: Para evitar infiltração**. Ed. 17, Maio de 2008. Disponível em <<http://equipededeobra.pini.com.br/construcao-reforma/17/artigo89506-2.aspx>> Acesso em: 11 jun. 2016.

RIGO, E. **Avaliação da influência de aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes nas propriedades das argamassas**. 2015. TCC – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

SANDER, M. M. **Estudo da ação plastificante de polímero obtido a partir de ácido oleico, em matriz de polipropileno e polietileno**. 2010. TCC – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, A. M; CABRAL, L. M.; MONTEIRO, E. B; HELENE, P. R. L. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico Para diferentes dosagens de concreto**. In: Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, Gramado, 2013.

TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios básicos sobre concreto de cimento Portland**. São Paulo: Pini: Ibracon, 1990.

THOMAZ, E. C. S. Instituto Militar de Engenharia- Notas de Aula: **Zona de transição na interface pasta agregado**, 2010. Disponível em <http://aquarius.ime.ub.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos_concretos/Interface_Pasta_Agregado_Adicoes.pdf> Acesso em: 11 jun. 2016.
_____. **Ensaio de Compressão Diametral (Brazilian Test)**. 2010. Disponível em <http://aquarius.ime.ub.br/~webde2/prof/ethomaz/lobocarneiro/comp_diametral.pdf> Acesso em: 11 jun. 2016.

Universidade Federal do Paraná. Notas de Aula: **Materiais de Construção II – Dosagem de concretos**. 2014. Disponível em <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/2/2a/TC031_Dosagem_2014.pdf> acesso em: 11 jun. 2016.

VEDACIT. **Manual técnico – Aditivos para concreto e argamassas**. 6º ed, 2010. Disponível em <<http://www.vedacit.com.br/uploads/biblioteca/manual-tecnico-aditivos-para-concretos-e-argamassas-6.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2016.

YAZIGI, W. **A técnica de Edificar**. 10. Ed. São Paulo: Pini: SindusCon, 2009.