



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**JEAN GASPAR ESMERALDINO**

**JONAS PEREIRA**

**INVESTIGAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS DE RETRAÇÕES MANIFESTADAS  
EM PILARES DE CONCRETO ARMADO**

**Tubarão**

**2017**

**JEAN GASPAR ESMERALDINO**  
**JONAS PEREIRA**

**INVESTIGAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS DE RETRAÇÕES MANIFESTADAS  
EM PILARES DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Rennan Medeiros

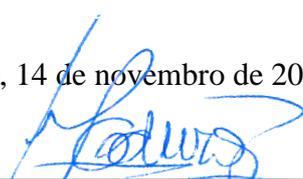
Tubarão  
2017

**JEAN GASPAR ESMERALDINO**  
**JONAS PEREIRA**

**INVESTIGAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS DE RETRAÇÕES MANIFESTADAS  
EM PILARES DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
do Sul de Santa Catarina como requisito  
parcial à obtenção do título de Engenheiro  
Civil.

Tubarão, 14 de novembro de 2017.



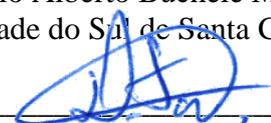
---

Professor e orientador Rennan Medeiros, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof. Maurício Alberto Büchele Motta, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Prof. Denis Fernandes Weidmann, Ms.  
Instituto De Luca Daher (IDD)

O presente trabalho é dedicado aos nossos pais que torceram pelo sucesso e ajudaram mesmo que de forma indireta conclusão do mesmo.

## AGRADECIMENTOS

Desenvolver o trabalho de conclusão de curso foi uma das etapas mais árduas pela qual passamos em nossas vidas, portanto, é chegada a hora de agradecer àqueles que colaboraram para o êxito desta pesquisa.

Iniciamos os agradecimentos aos nossos pais, por serem nossos maiores exemplos e por sempre acreditarem em nosso potencial, tendo certeza, antes de nós mesmos, que teríamos sucesso ao final deste trabalho.

À amizade, que mais uma vez comprovou que todo obstáculo se torna mais fácil de superar quando temos alguém para dividir as dificuldades, e que durante este trabalho cheio de barreiras se manteve firme e forte, inclusive nos momentos de exaustão, para que atingíssemos o tão esperado sucesso.

Ao amigo, orientador e professor Rennan Medeiros, pela disponibilidade, solicitude e dedicação durante cada fase deste trabalho, que muitas vezes abdicou dos horários de descanso para nos orientar e que incansavelmente nos motivou a fazer um trabalho com qualidade.

A todos os amigos que passaram por nossas vidas, especialmente a Bruno Dandolini e Romário Heidemann, que não mediram esforços para nos ajudar quando precisamos de suporte e que se fez presente em diversos momentos de descontração.

Aos amigos de longe, especialmente a Isabel Pereira e João Henrique Bonelli que mesmo impedidos de estarem ao nosso lado pela distância que nos separa se fizeram presentes através de palavras motivacionais e confiaram em nosso sucesso do princípio ao fim.

Aos nossos colegas de graduação, alguns mais próximos, mas ninguém menos importante, por tantos anos de estudos e por nos momentos de maior dificuldade darem apoio um ao outro para que todos os objetivos traçados fossem devidamente alcançados.

Aos professores de toda nossa graduação, especialmente ao Gilson Rocha que nos passou todo seu conhecimento acerca da elaboração de pesquisa e foi de imensa importância para realização da primeira etapa desta pesquisa.

Aos colaboradores do LEC – Laboratório de Engenharia Civil, por toda ajuda dada e apoio, sendo tanto para o desenvolvimento do trabalho quanto pela companhia na execução dos ensaios.

Aos colegas da Universidade Federal de Santa Catarina adquiridos em curto período de tempo, especialmente a Alex Vasconcelos, Lucas Onghero e Pedro Paulo Mingote

Martins que contribuíram no desenvolvimento deste trabalho com suas experiências e disponibilidade.

A todos integrantes do time de futebol, *Vigarreal*, pelo ambiente agradável que ali construímos e que na maioria das segundas-feiras serviu como válvula de escape de nossa rotina de pesquisa.

A todos da empresa Arlete Transportes LTDA por auxiliar no transporte dos materiais utilizados em nossa pesquisa, especialmente ao responsável operacional Ismael Medeiros e a todos os colaboradores do turno de sábado de manhã que desprenderam de tempo ao auxiliar no carregamento e descarregamento dos materiais.

Às empresas Habitare Construtora e Incorporadora LTDA na pessoa do Engenheiro Antônio Gazola, Lojão da Construção na pessoa de vendedor Julio de Medeiros, Polimix Concreto– Florianópolis na pessoa do senhor André e Traço Forte Concretos LTDA na pessoa do Engenheiro Cristian Vitoretti que nos auxiliaram através da seção de materiais, mão de obra e materiais.

E por fim, a todos que direta ou indiretamente participaram de forma positiva para a realização de mais essa etapa de nossas vidas.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.” (José de Alencar)

## RESUMO

As manifestações patológicas provenientes do fenômeno da retração tendem a ocorrer em praticamente todos os elementos estruturais de concreto, com intensidade proporcional ao seu tamanho. Pode haver várias origens para este processo, extrínsecas ou intrínsecas; portanto, julgou-se necessária a realização de um estudo sobre as possíveis causas de retrações em pilares, originadas no processo de execução da obra e caracterizadas pela heterogeneidade no aspecto visual entre as partes inferiores e superiores dos elementos estruturais. Este estudo iniciou-se quando em um residencial na cidade de Tubarão-SC, os pilares apresentaram uma diferença muito acentuada entre suas características estéticas entre seu topo e sua base. Após realizado o embasamento teórico, testes foram realizadas no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina, Unisul, no campus de Tubarão. A pesquisa é classificada como exploratória e explicativa, utilizando coleta de amostras, caracterização dos materiais, comparação entre a variação de aditivo empregado in loco, em detrimento à recomendação do fornecedor, montagem dos protótipos laboratoriais, realização de ensaios no estado fresco e endurecido e, por fim, análise dos resultados. Foram analisadas as características dos protótipos laboratoriais, além da inspeção visual para verificar se a alteração da quantidade de aditivo empregada influenciaria o aparecimento de fissuras. O principal indicador quanto à realização da vibração em excesso foi o ensaio de ultrassom, que identificou valores excedentes da recomendação normal na análise de dados que, em termos práticos, significa que foi vibrado além do necessário, contribuindo para ascensão dos componentes de menor massa. Consequentemente, origina um comportamento heterogêneo na massa de concreto. O estudo entre a comparação por camadas se fez necessário, visando a confirmar se haveria diferença entre elas. Atribui-se o surgimento dessas manifestações patológicas principalmente ao processo de vibração do concreto, confirmada ao utilizar a quantidade de aditivo indicada pelo fornecedor (traço 1). A diferença de comportamento entre o topo e a base fez-se presente em todos os ensaios realizados. Com o acréscimo de aditivo, outras propriedades do concreto sofrem alteração e isso potencializa o surgimento de manifestações patológicas. Conclui-se que a diferença entre as características entre o topo e a base ocorrem pelo processo de vibração.

Palavras-chave: Retração em pilares. Segregação de aditivos. Excesso de vibração. Heterogeneidade do concreto.

## ABSTRACT

Pathological manifestations from the retraction phenomenon tend to occur with almost all the structural concrete elements, whose intensity is proportional to the size. The origins may come from several factors, such as extrinsic or intrinsic. Then, perform a study on possible causes for retractions in pillars originated in the work perform process and featured by heterogeneity of visual aspect and between superior and inferior parts of structural elements is necessary. This study started when the residential, in Tubarão town, state of Santa Catarina – Brazil presented pillars with very pronounced difference in aesthetic characteristics among the top and its bottom. After theoretical base study, tests were performed inside the Civil Engineering Laboratory in the Universidade do Sul de Santa Catarina, Unisul, in campus Tubarão. The research is classified as exploratory and explanatory, using sample collection, characterization of materials, comparison among variation of additive used in loco, despite the manufacturing recommendations, assembling the Laboratory prototypes, performing tests in fresh and hard states, and finally the analysis of results. Prototype laboratory characteristics were analyzed, further the visual inspection to verify whether changes in the amount of additive used would influence on the cracking. The main indicator regarding to the excessive vibration was the ultrasound test, which identified surplus values of normal recommendation in data analysis. In practical terms, it means the vibration beyond the necessary, contributing to less mass components ascend. As consequence, it originates a heterogeneous behavior on the concrete mixture. The study among the comparison by layers is necessary in order to confirm whether there difference among them. Appearance of these pathological manifestations is attributed mainly to the concrete vibration process, confirmed when used the amount of additive recommended by the manufacturer (mix 1). Behavior difference between top and bottom were presented in all the tests performed. With additive decrease, other concrete properties changed and it potentiates the appearance of pathological manifestations. We conclude the difference between characteristics from top and bottom occurs by the vibration process.

**Keywords:** Retractions in pillars. Additive segregation. Excessive vibration. Concrete heterogeneity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação esquemática da taxa de liberação do calor de hidratação do cimento Portland.....	42
Figura 2 – Medidas de retração autógena em amostras de argamassa, com diferentes relações a/c e quantidades equivalentes de água .....	47
Figura 3 – Fluxograma do programa experimental .....	53
Figura 4 – Projeto das formas para montagem do protótipo laboratorial.....	57
Figura 5 – Protótipo laboratorial .....	58
Figura 6 – Etapas executivas do ensaio de slump test I.....	60
Figura 7 – Etapas executivas do ensaio de slump test II .....	60
Figura 8 – Etapas executivas do ensaio de slump test III.....	61
Figura 9 – Etapas executivas do ensaio de calorimetria (semi-adiabática) I.....	62
Figura 10 – Etapas executivas do ensaio de calorimetria (semi-adiabática) II .....	63
Figura 11 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto I.....	64
Figura 12 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto II.....	65
Figura 13 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto III .....	65
Figura 14 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto IV .....	66
Figura 15 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto V .....	66
Figura 16 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto VI.....	66
Figura 17 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto VII.....	67
Figura 18 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto VIII .....	67
Figura 19 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto IX .....	67
Figura 20 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão I .....	69
Figura 21 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão II.....	69
Figura 22 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão III.....	69
Figura 23 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão IV .....	70
Figura 24 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão V .....	70
Figura 25 – Etapas executivas do ensaio de ultrassom I .....	71
Figura 26 – Etapas executivas do ensaio de ultrassom II.....	72
Figura 27 – Protótipos apresentando retração traço 1 .....	83
Figura 28 – Protótipos individuais apresentando retração traço 1.....	84
Figura 29 – Protótipos apresentando retração traço 2 .....	85
Figura 30 – Protótipos individuais apresentando retração traço 2.....	85

Figura 31 – Imagem ilustrativa de pilares com retrações nas camadas superiores I.....	99
Figura 32 – Imagem ilustrativa de pilares com retrações nas camadas superiores II.....	99
Figura 33 – Imagem ilustrativa de pilares com retrações nas camadas superiores III .....	100

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comportamento da variação de temperatura no protótipo C1 .....	75
Gráfico 2 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C2 .....	76
Gráfico 3 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C3 .....	77
Gráfico 4 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C4 .....	78
Gráfico 5 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C6 .....	79
Gráfico 6 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C7 .....	80
Gráfico 7 – Resistência à compressão média subdivida por camada aos 28 dias .....	86
Gráfico 8 – Velocidade de propagação de ondas de ultrassom .....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nomenclatura dos Cimentos Portland .....	26
Tabela 2 – Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	28
Tabela 3 – Limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo .....	28
Tabela 4 – Características das barras .....	32
Tabela 5 – Característica dos fios .....	33
Tabela 6 – Classe de agressividade ambiental .....	36
Tabela 7 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto .....	37
Tabela 8 – Correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal .....	38
Tabela 9 – Calor de hidratação de compostos do cimento Portland a uma dada idade .....	42
Tabela 10 – Características do agregado graúdo .....	55
Tabela 11 – Características do agregado miúdo .....	55
Tabela 12 – Propriedades químicas do cimento .....	56
Tabela 13 – Propriedades físicas e mecânicas do cimento .....	56
Tabela 14 – Propriedades do cimento .....	56
Tabela 15 – Propriedades do aditivo .....	57
Tabela 16 – Traço kg por m <sup>3</sup> de ambos os traços .....	58
Tabela 17 – Resultados slump test para o traço 1 .....	73
Tabela 18 – Resultados slump test para o traço 2 .....	73
Tabela 19 – Resumo dos resultados dos ensaios de calorimetria .....	81
Tabela 20 – Distribuição dos componentes presentes no traço 1 .....	82
Tabela 21 – Propriedades tecnológicas referentes ao traço 1 .....	83
Tabela 22 – Distribuição dos componentes presentes no traço 2 .....	84
Tabela 23 – Propriedades tecnológicas referentes ao traço 2 .....	84

## **LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS**

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA – Concreto Armado

CAA – Classe de Agressividade Ambiental

CB – Comitê Brasileiro

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CP – Cimento Portland

Eq. Alc. – Equivalente Alcalino

GTEC – Grupo de Tecnologia em Materiais à Base de Cimento Portland

IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor

ISO – Organização Internacional para Padronização

LTDA – Limitada

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

PF – Perda ao Fogo

RI – Resíduos Insolúveis

SC – Santa Catarina

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

a/c – Relação água cimento

°C – Unidade de medida - Grau Celsius

mm – Unidade de medida – Milímetro

µm – Unidade de medida – Micrometro

n° – Número

% - Unidade de medida – Porcentagem

kgf/mm<sup>2</sup> - Unidade de medida – Quilograma força por milímetro quadrado

kg/m<sup>3</sup> - Unidade de medida – Quilograma por metro cúbico

mm<sup>2</sup> - Unidade de medida – Milímetro quadrado

fyk – Resistência característica de escoamento

fst – Limite de resistência

φ – Diâmetro

A – Alongamento após ruptura em 10φ

Agt – Alongamento total na força máxima

≤ – Menor ou igual

≥ – Maior ou igual

Cmin – Cobrimento mínimo

Cnom – Cobrimento nominal

Δc – Cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução

Cal/g – Unidade de medida - Calorias por grama

C3S – Silicato tricálcico

C-S-H – Silicato de cálcio hidratado

C2S – Silicato dicálcico

Ca(OH)<sub>2</sub> – Hidróxido de Cálcio

CaCO<sub>3</sub> – Carbonato de Cálcio

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

C3A – Aluminato Tricálcico

g/cm<sup>3</sup> – Unidade de medida – Gramas por centímetro cúbico

ppm – Partes por milhão

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Alumina

SiO<sub>2</sub> – Sílica

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de Ferro

CaO – Óxido de Cálcio

MgO – Óxido de Magnésio

SO<sub>3</sub> – Trióxido de Enxofre

C<sub>a</sub>O L – Óxido de Cálcio Livre

MPa – Unidade de medida - Megapascal

f<sub>ck</sub> – Resistência Característica do Concreto à Compressão

L/m<sup>3</sup> – Unidade de medida – Litro por metro cúbico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA .....	21
1.2 OBJETIVOS .....	22
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.1 Objetivos específicos .....</b>	<b>22</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>23</b>
2.1 O MATERIAL CONCRETO ARMADO.....	23
<b>2.1.1 Composição.....</b>	<b>24</b>
2.1.1.1 Cimento .....	25
2.1.1.2 Agregados.....	27
2.1.1.3 Água .....	29
2.1.1.4 Aditivo.....	29
2.1.1.5 Aço .....	31
<b>2.1.2 Segregação.....</b>	<b>33</b>
<b>2.1.3 Aderência .....</b>	<b>34</b>
<b>2.1.4 Durabilidade da estrutura .....</b>	<b>35</b>
2.1.4.1 Classe de Agressividade Ambiental .....	35
2.1.4.2 Relação água/cimento.....	36
2.1.4.3 Cobrimento .....	37
<b>2.1.5 Produção do concreto.....</b>	<b>38</b>
2.1.5.1 Mistura.....	39
2.1.5.2 Transporte.....	39
2.1.5.3 Lançamento e Adensamento.....	39
2.1.5.4 Cura .....	40
2.1.5.5 Hidratação do cimento Portland e calor de hidratação .....	40
2.2 RETRAÇÃO .....	43
<b>2.2.1 Retração hidráulica ou por secagem .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.2 Retração por carbonatação .....</b>	<b>45</b>
<b>2.2.3 Retração plástica .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.4 Retração autógena.....</b>	<b>47</b>
<b>2.2.5 Retração térmica .....</b>	<b>48</b>
2.3 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES .....	48

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA</b>	<b>51</b>
3.1	CAMINHOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DO TEMA	51
3.2	PROGRAMA EXPERIMENTAL	52
3.3	MATERIAIS	54
<b>3.3.1</b>	<b>Agregado graúdo</b>	<b>54</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Agregado Miúdo</b>	<b>55</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Cimento</b>	<b>55</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Aditivo</b>	<b>56</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Água</b>	<b>57</b>
<b>3.3.6</b>	<b>Protótipos laboratoriais (pilaretes)</b>	<b>57</b>
3.4	DOSAGEM DO CONCRETO	58
3.5	ENSAIOS REALIZADOS	58
<b>3.5.1</b>	<b>Slump test (Ensaio de abatimento)</b>	<b>59</b>
3.5.1.1	Aparelhagem utilizada	59
3.5.1.2	Amostra utilizada	59
3.5.1.3	Ensaio	59
<b>3.5.2</b>	<b>Calorimetria (Semi-adiabática)</b>	<b>61</b>
3.5.2.1	Aparelhagem utilizada	61
3.5.2.2	Amostra utilizada	62
3.5.2.3	Ensaio	62
<b>3.5.3</b>	<b>Reconstituição do traço de concreto</b>	<b>63</b>
3.5.3.1	Aparelhagem utilizada	63
3.5.3.2	Amostra utilizada	64
3.5.3.3	Ensaio	64
<b>3.5.4</b>	<b>Determinação da resistência à compressão</b>	<b>68</b>
3.5.4.1	Aparelhagem utilizada	68
3.5.4.2	Amostra utilizada	68
3.5.4.3	Ensaio	68
<b>3.5.5</b>	<b>Ensaio de ultrassom</b>	<b>70</b>
3.5.5.1	Aparelhagem utilizada	70
3.5.5.2	Amostra utilizada	71
3.5.5.3	Ensaio	71
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>73</b>
4.1	SLUMP TEST (ENSAIO DE ABATIMENTO)	73

4.2	CALORIMETRIA (SEMI-ADIABÁTICA).....	74
4.3	RECONSTITUIÇÃO DO TRAÇO DE CONCRETO.....	82
4.4	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	85
4.5	ENSAIO DE ULTRASSOM .....	87
4.6	SÍNTESE DE RESULTADOS .....	88
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>90</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO A – ACERVO FOTOGRÁFICO PILARES APRESENTANDO</b>	
	<b>MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....</b>	<b>99</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Não há dúvidas que o estudo da retração nos elementos estruturais de concreto tem ganhado notoriedade nos últimos anos. O avanço tecnológico da construção civil juntamente com a facilidade da difusão das informações fez com que a exigência sobre o produto final seja cada vez maior, portanto, garantir um bom rendimento às principais propriedades, como trabalhabilidade, resistência, durabilidade bem como adotar medidas de prevenção patológica do concreto se tornou prioridade.

O fenômeno da retração é apontado como uma das principais causadoras de manifestações patológicas em elementos de concreto em idades iniciais. Na literatura, é exposto que os materiais cimentícios sofrem variações de volume, tanto no estado fresco quanto no endurecido, sendo causados por diversos fatores, dentre eles, as deformações causadas por efeitos térmicos.

De forma geral, os sólidos sofrem expansão na presença de calor e contração quando expostos ao frio. A deformação associada à mudança de temperatura dependerá do coeficiente de dilatação térmica e da magnitude da queda ou aumento da temperatura. O concreto, de forma geral, comporta-se bem nas temperaturas de serviço, apresentando problemas somente quanto exposto a temperaturas extremas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Conforme exposto pela literatura, durante o processo de vibração de elementos estruturais de concreto, neste caso o tipo pilar, os constituintes mais leves como água, aditivo e a pasta de cimento tendem a segregar. Assim sendo, é evidente que por conter elevadas porções de cimento na parte superior, haverá acúmulo de calor de hidratação e consequentemente diferença de retração térmica entre as partes superiores e inferiores das estruturas analisadas.

Este problema é relatado mais comumente em grandes estruturas maciças, como barragens ou edificações muito altas, porém, pode ocorrer em elementos estruturais de menores dimensões, especialmente quando a retração térmica vem acompanhada da retração hidráulica, envolvendo a baixa relação  $a/c$ .

Diante da importância, já comentada, do fenômeno da retração, este trabalho tratará especificamente de um estudo dos tipos de retrações, com enfoque principal às retrações térmica e hidráulica, além de avaliar a diferença entre as partes superiores e inferiores do elemento estrutural do tipo pilar, devido à segregação dos componentes do concreto.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

A construção civil tem se tornado cada vez mais seletiva. O controle tecnológico, a garantia da qualidade e a preocupação com a sustentabilidade têm sido fatores determinantes que passaram a ter muita influência no mercado atual.

Com a implantação do Código de Proteção e Defesa do Consumidor, elaborado em 1990, os clientes se conscientizaram de seus direitos e passaram a exigí-los. Assim sendo, nas obras atuais é necessário um cuidado dobrado em todas as áreas, desde a concepção do projeto, sua execução e as manutenções periódicas durante fase de uso destes edifícios.

Materiais de construção é o nome genérico pelo qual se designam os diversos produtos utilizados na construção civil. Estes materiais sofreram grandes alterações nos últimos tempos, não apenas no sentido de se tornarem mais adaptáveis à demanda dos padrões modernos de beleza, mas também no sentido de serem mais adaptáveis às aplicações de hoje em dia se tornando mais duráveis com o tempo.

O homem, desde a Idade da Pedra, empregava os materiais da forma que era encontrado na natureza, passando a modelá-los e adaptá-los às suas necessidades. Assim sendo, os primeiros materiais utilizados para construção foram a pedra, a madeira, o barro e, em alguns casos, metais e fibras vegetais. Com a necessidade de obter materiais mais resistente e com melhor trabalhabilidade, deu-se início a utilização do concreto.

O concreto, atualmente, sofreu derivações visando melhoria em seu emprego. Inicialmente era utilizado concreto simples, posteriormente, este material foi associado a aço e passou a ser chamado de concreto armado. Além disso, no cenário atual, é comum verificar o emprego de concreto protendido, que geralmente é utilizado para elementos estruturais pré-moldados e requer um controle tecnológico ainda maior.

É fato que o concreto armado, material predominante na construção civil, sofre diversas manifestações patológicas ao longo do tempo. Isso pode ocorrer devido a uma série de fatores que envolvem não somente a qualificação da mão de obra, bem como a procedência dos materiais, elaboração dos projetos, agressividade ambiental em que se situa a obra, uso da edificação, além da própria vida útil do concreto.

Considerando-se a possibilidade do surgimento dessas patologias, a questão maior desta investigação é: **Quais causas de retrações em pilares, originadas no processo de execução da obra e caracterizadas pela heterogeneidade no aspecto visual entre as partes inferiores e superiores dos elementos estruturais?**

## 1.2 OBJETIVOS

O presente item é composto pelo objetivo central desta pesquisa, assim como os objetivos específicos eleitos para o viabilizar seu alcance.

### 1.2.1 Objetivo geral

Investigar as possíveis causas das retrações acentuadas manifestadas em pilares de concreto armado nas primeiras idades, originadas no processo de execução da obra e caracterizadas pela heterogeneidade no aspecto visual entre as partes inferiores e superiores dos elementos estruturais.

### 1.2.1 Objetivos específicos

- Identificar os tipos de retração potencialmente manifestadas em pilares;
- Identificar os tipos de retrações que podem ser originados a partir da má execução do pilar;
- Executar ensaios em elementos estruturais protótipos de laboratório a fim de simular as condições ocorridas *in loco*;
- Analisar nestes protótipos os tempos de início de pega, segregação em função da altura do pilar protótipo, propriedades mecânicas no estado endurecido, a fim de possibilitar a identificação das potenciais causas das fissurações por retração *in loco*;
- Investigar a relação entre a aparecimento das fissuras de retrações com as proporções de aditivos utilizados;
- Descrever os procedimentos ideais para conter a heterogeneidade da parte superior e inferior do concreto, em elementos estruturais, do tipo pilar, prevenindo o surgimento de fissuras causadas por retrações acentuadas nas primeiras idades.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo é formado pelo levantamento do estado da arte do objetivo desta pesquisa. Iniciando pelos conceitos fundamentais do material em estudo, direcionando para o problema de pesquisa aqui levantando. Estas informações servem de subsídio para a definição métodos a serem empregados, aguçando a criatividade destes autores pela busca a um método capaz de analisar, com a precisão adequada para sua validação, o problema em questão. Balizando, desta forma, o delineamento do capítulo 3. Servindo ainda, como base de informações publicadas por autores consagrados para a análise dos resultados obtidos, direcionando, por fim, as conclusões desta pesquisa.

### 2.1 O MATERIAL CONCRETO ARMADO

O concreto se origina a partir da aglutinação entre uma pasta aglomerante e agregados. No concreto de cimento hidráulico, que é o mais comum, o aglomerante se forma pela mistura de água e cimento. O material granular é usado dentro de um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa. Dentre os diferentes tipos de agregados destacam-se: areia natural, areia artificial, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto forno ou resíduos sólidos. Modernamente, adições minerais e aditivos tem sido usado constantemente na construção civil e podem, também, serem considerados materiais componentes do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, depois da água, e em volume, é o produto mais fabricado atualmente. Participa ativamente do desenvolvimento mundial e da melhoria de qualidade de vida do ser humano, por se tratar de matéria-prima destinada a construção de abrigo e infraestrutura, proporcionando conforto, saúde e segurança necessários à existência humana. A multiplicidade de possibilidades de formas e dimensões inerentes ao concreto estrutural aliado aos diversos aspectos visuais possíveis dados por cores, texturas são características que o torna um dos materiais mais usados em caráter mundial. (RIBEIRO, 2010, p. 01).

O principal atributo do concreto é a alta resistência quando solicitado à esforços de compressão. Porém, sua baixa resistência à tração tende a causar nos elementos estruturais o surgimento de fissuras, e assim se faz necessário a introdução de barras ou fios de aço, caracterizados por possuírem alta resistência à tração, alocados em posições adequadas para resistir a esse tipo de esforço principalmente na zona tracionada onde o rompimento é muito frágil, neste caso, a denominação passa a ser concreto armado. Assim, ao fissurar o concreto

na zona comprimida, a armadura passa a colaborar na absorção dos esforços excedentes, aumentando a resistência do elemento e viabilizando sua utilização (SANTOS, 2014).

Em função dos constantes avanços tecnológicos que coincidiram, concomitantemente, com a exigência do cliente assegurada pelo Código do Consumidor, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC) em 1990, os aspectos de estética, durabilidade, desempenho e conforto passaram a ter equivalente importância à segurança global da obra.

A importância do estudo da Patologia das Construções está, em primeiro lugar, na necessidade de divulgação das manifestações patológicas mais incidentes; em segundo lugar, no conhecimento da evolução dos problemas – quanto antes detectadas menor o custo para reparo dos elementos danificados. (STEEN, 1991, apud ANDRADE, 1997, p. 5).

Para que o concreto tenha uma boa qualidade e não apresente excessivas manifestações patológicas, alguns cuidados devem ser tomados. Tais cuidados compreendem fatores externos e intrínsecos do concreto, como por exemplo a seleção correta de seus componentes, um estudo das dosagens utilizadas, a garantia que as suas propriedades iniciais serão mantidas ao longo de sua vida útil, a devida execução da cura, testes de resistências à compressão e tração, sua durabilidade e também o fator estético do elemento estrutural (AMORIM, 2010).

As estruturas de concreto devem atender os requisitos mínimos de qualidade no que diz respeito a capacidade resistente, desempenho de serviço e durabilidade, durante sua construção e serviço, e aos requisitos adicionais estabelecidos em conjunto entre o autor do projeto estrutural e o contratante. (NBR 6118 ABNT, 2014, p.13).

Para que o concreto tenha uma boa qualidade alguns fatores são preponderantes, tais como: sua composição, durabilidade e produção do concreto. Para tal, deve-se conhecer o uso, a localização e o tipo de obra a ser executado. Tanto os profissionais responsáveis pelo projeto quanto os responsáveis pela execução devem trabalhar em conjunto para que seja garantido o êxito do produto final junto ao cliente solicitante.

### **2.1.1 Composição**

O concreto é obtido através da mistura adequada de quatro principais componentes, sendo eles: Cimento Portland, água, agregado graúdo e agregado miúdo. Usualmente se utiliza aditivos superplastificantes, impermeabilizantes, desmoldantes,

hidrorepelentes, aceleradores, entre outros. Conforme Prudêncio Jr. (2016), em notas de aula, os aditivos já são considerados o quinto elemento indispensável do concreto, a julgar pelo seu constante emprego. O concreto armado, por sua vez, é resultado da união entre concreto convencional e barras ou fios de aço, garantindo perfeita aderência entre ambos materiais e que os esforços as quais são submetidos sejam resistidos solidariamente.

A utilização de barras ou fios de aço juntamente com o concreto só é possível devido as seguintes razões: a capacidade do aço e do concreto trabalharem em conjunto, assegurado pela aderência entre os materiais; a semelhança entre o coeficiente de dilatação térmica entre ambos os materiais; e ao fato do concreto proteger o aço de oxidação, garantindo a durabilidade da armadura (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

#### 2.1.1.1 Cimento

O Cimento Portland caracteriza-se por ser um pó fino com características aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Uma vez endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água o mesmo não se decompõe, ou seja, o Cimento Portland não volta a ter suas condições originais.

Essa característica provém de seu principal componente: o Clínquer, que é um material sintetizado a base de calcário e a argila e sua fabricação provém da britagem das rochas, tratamentos à base de variação de temperatura (calcinação à aproximadamente 1450°C) e adições de matérias primas como o gesso, as escórias de alto forno, materiais pozolânicos, entre outros (BASTOS, 2006).

A tabela 1 apresenta a nomenclatura dos cimentos Portland, de acordo com o Guia Básico de Utilização do Cimento Portland.

Tabela 1 – Nomenclatura dos Cimentos Portland

Nome Técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
Cimento Portland comum (NBR 5732)	Cimento Portland comum	CP I	25	CP I-25
			32	CP I-32
			40	CP I-40
	Cimento Portland comum com adição	CP I-S	25	CP I-S-25
			32	CP I-S-32
			40	CP I-S-40
Cimento Portland composto (NBR 11578)	Cimento Portland comum composto com escória	CP II-E	25	CP II-E-25
			32	CP II-E-32
			40	CP II-E-40
	Cimento Portland comum composto com pozolana	CP II-Z	25	CP II-Z-25
			32	CP II-Z-32
			40	CP II-Z-40
	Cimento Portland comum composto com filer	CP II-F	25	CP II-F-25
			32	CP II-F-32
			40	CP II-F-40
Cimento Portland de alto forno (NBR 5735)		CP III	25	CP III-25
			32	CP III-32
			40	CP III-40
Cimento Portland pozolânico (NBR 5736)		CP IV	25	CP IV-25
			32	CP IV-32
Cimento Portland de alta resistência inicial (NBR 5733)		CP V-ARI	-	CP V-ARI
Cimento Portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP I-32RS, CP II-F-32RS, CP III-40RS e etc.
			32	
			40	
Cimento Portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I-32BC, CP II-F-32BC, CP III-40BC e etc.
			32	
			40	
Cimento Portland branco (NBR 12989)	Cimento Portland branco estrutural	CPB	25	CPB-25
			32	CPB-32
			40	CPB-40
	Cimento Portland branco não estrutural	CPB	-	CPB
Cimento para poços petrolíferos (NBR 9831)		CPP	G	CPP - classe G

Fonte: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland (ABCP, 2002, p. 18).

Nota-se, portanto, que o tipo de cimento varia de acordo com alguns indicadores. O tipo de material usado em sua composição interfere diretamente em sua nomenclatura. Também são classificados através de siglas e classe, variando de acordo com sua resistência, composição química, características e particularidades.

#### 2.1.1.2 Agregados

Os agregados possuem um importante papel na composição de argamassa e de concreto, considerando tanto o ponto de vista econômico quanto o técnico. Além de serem inertes, exercem uma série de benefícios dos quais impulsionam o desempenho de algumas características do concreto, como: resistência à retração, resistência ao desgaste, resistência aos esforços mecânicos, entre outros. Tal melhoria se justifica ao passo de que os agregados de boa qualidade têm resistência superior à da pasta do aglomerante (PETRUCCI, 1982).

O agregado é um material granular que é usado com um meio cimentício, para formar um concreto ou uma argamassa. O agregado pode ser graúdo, com partículas maiores que 4,8 mm ou miúdo, com partículas menores que 4,8 mm, porém maiores que 75  $\mu\text{m}$ . Algumas características dos agregados, tais como: forma, granulometria (distribuição granulométrica e mineralógica), tamanho e textura da superfície são responsáveis pela resistência do concreto em vários níveis indiretos (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define agregado miúdo como os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu\text{m}$ . Define ainda agregado graúdo os agregados cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,75 mm.

As tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, o limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo e o limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 2 – Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

1 - O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

2 - O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

3 - O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Fonte: NBR 7211, (ABNT, 2009, p. 5).

Tabela 3 – Limite da distribuição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D <sup>1)</sup>				
	4,75/12,5	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	5 - 25 <sup>2)</sup>	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 <sup>2)</sup>	65 <sup>2)</sup> - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 <sup>2)</sup> - 65 <sup>2)</sup>	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 <sup>2)</sup>	80 <sup>2)</sup> - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 <sup>2)</sup> - 65 <sup>2)</sup>	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 <sup>2)</sup> - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

<sup>1)</sup> - Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões de agregado graúdo

<sup>2)</sup> - Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com <sup>2)</sup>. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites

Fonte: NBR 7211, (ABNT, 2009, p. 8).

De acordo com as tabelas 2 e 3 expostas acima, nota-se a distribuição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos de acordo com a porcentagem em massa que fica acumulada em cada malha de peneira. Os agregados graúdos são utilizados para composição do concreto, enquanto os miúdos além de participar para composição do

concreto, também são utilizados com maior abundância na composição de argamassas, que diferentemente do concreto não contém agregados graúdos.

#### 2.1.1.3 Água

Embora possa ser um dos maiores inimigos do concreto devido sua facilitação de originar manifestações patológicas, é indispensável seu uso no concreto, pois, auxilia na hidratação do cimento, transformando o cimento Portland em agente ligante que, posteriormente, se torna responsável pelo endurecimento do mesmo.

A água é necessária no concreto para possibilitar as reações químicas do cimento, chamadas reações de hidratação, que irão garantir as propriedades de resistência e durabilidade do concreto. Tem também a função de lubrificar as demais partículas para proporcionar o manuseio do concreto. Normalmente a água potável é a indicada para a confecção dos concretos, entre outros (BASTOS, 2006, p.7).

A água de esgoto e a água do mar, mesmo com tratamento, não são adequadas para uso em concreto. No caso de água salobra (água com salinidade entre a da água do mar e as chamadas águas doces) também pode ser utilizada, mas somente no concreto não armado. Quando a água vem de fontes subterrâneas, ou quando é de captação pluvial ou ainda oriunda de processo residual industrial, pode ser boa para uso do concreto, mas deve ser ensaiada para verificação de sua procedência. A água de abastecimento público é adequada para o concreto e já vem sendo utilizada, não necessitando de ensaio. A água potável que atende a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde é considerada dentro dos padrões exigidos pela norma do ABNT/CB-18 e pode ser utilizada sem restrição para a preparação do concreto.

#### 2.1.1.4 Aditivo

Aditivos são, em resumo, materiais ou substâncias adicionadas geralmente em pequenas quantidades, para auxiliar a síntese do material, bem como para melhorar o processamento, as propriedades e a aparência do produto final. No caso do concreto, comumente são utilizados aditivos à base de polímeros, com características que podem alterar o tempo de pega. Para atingir o conjunto de propriedades desejadas deve-se garantir que a adição do aditivo não acarretará na diminuição de outras propriedades de maneira prejudicial, o que poderá levar à inutilização do elemento estrutural.

Os aditivos são classificados pela sua função principal, como por exemplo produzir certa redução do consumo de água, porém, em alguns casos, podem ser desenvolvidas funções secundárias que podem ser maléficis ao produto e por este motivo, a escolha no tipo de aditivo deve ser realizada com cautela.

O concreto em estado fresco dependendo do teor de aditivo plastificante pode variar a sua consistência no estado plástico ao estado fluido. Também pode variar sua consistência em virtude das reações de pega, perda de água de amassamento ou evaporação. Portanto, a trabalhabilidade é uma das propriedades mais importante do concreto, uma vez que relaciona-se a várias de suas propriedades no estado fluido e endurecido. (CHAGAS, 2011, p.51).

Os aditivos do tipo plastificantes/superplastificantes, para uso em concreto, possuem a seguinte classificação: primeira geração (lignossulfonatos e Naftaleno sulfonato), segunda geração (melamina sulfonato) e terceira geração (policarboxilatos).

Os lignossulfonatos possuem a função básica de dispersão das moléculas muito pequenas, que no concreto são representados por partículas de cimento ou impurezas dos demais constituintes. Sua obtenção ocorre a partir do rejeito líquido do processo de extração da celulose da madeira, juntamente com sulfonados de lignina, carboidratos, ácido sulfuroso e sulfatos livres. Um de seus principais diferenciais é que este tipo de aditivo se compõe com duas polaridades opostas, sendo uma hidrofílica (afinidade por água) e uma hidrofóbica (afinidade por outros solutos), assim, a utilização do aditivo caracteriza o aumento da trabalhabilidade em estado fresco e a hidratação dos grãos no estado endurecido (ALVES, 1994 apud CHAGAS, 2011).

O naftaleno sulfonato possuem a função básica de aumentar a compatibilidade do cimento, reduzir a tensão superficial da água na fase aquosa e auxiliar na incorporação de ar ao concreto, diminuindo sua viscosidade. De acordo com a variação da temperatura e consumo de cimento as características de plasticidade do concreto podem sofrer alterações. Sua obtenção ocorre a partir da reação com ácido sulfúrico concentrado, causando a substituição eletrofílica que se dá mediante a três etapas distintas, sendo elas: condensação, neutralização e filtração (ALVES, 1994 apud CHAGAS, 2011).

O melamina sulfonato são muito utilizados na produção de resinas e em auxílio ao concreto possuem capacidade de aumentar a plasticidade do mesmo. Seu efeito é efêmero e por este motivo deve ser misturado cerca de 10 minutos antes do lançamento do concreto na estrutura indicada. Além disso, possuem função de reduzir o consumo de água no traço,

chegando a casos de reduzir em até 25%. Sua obtenção ocorre a partir de técnicas de polimerização (HARTMAN, 2002).

Os policarboxilatos possuem a função básica de dispersão e defloculação das partículas de cimento, servindo, portanto, como agentes redutores de água não afetando a pega. Por apresentarem uma complexa composição química, possuem pouca compatibilidade com matérias-primas e quando não são compatíveis, tendem a agir como incorporadores de ar no concreto, aumentando portanto a porosidade da pasta (HARTMAN, 2002).

É fato conhecido que o uso de aditivos polifuncionais a base de lignossulfonato em teores elevados causam um importante retardo de pega. Desta forma, a coloração escura observada nas partes superiores dos pilares é fruto do retardo de pega, que não ocorreu nas partes inferiores devido ao menor teor de aditivo. (PRUDÊNCIO JR.; MEDEIROS, 2015 p.11).

Teores elevados de aditivos do tipo lignossulfonatos, principalmente quando o cimento empregado é do tipo CP IV (Cimento Portland pozolânico) causam retardo excessivo na pega devido à polaridade hidrofílica constante neste tipo de aditivo e como a vibração do concreto faz com que as partículas mais leves<sup>1</sup> segreguem, aumentando o tempo de pega na parte superior em relação a parte inferior. Já os aditivos do tipo policarboxilatos por realizar a dispersão de grãos de cimento uniformemente tendem a minimizar a diferença do tempo de pega entre as partes superiores e inferiores.

#### 2.1.1.5 Aço

De fato, o concreto é um material caracterizado pela alta resistência às tensões de compressão, porém, apresenta baixa resistência à tração (o equivalente à 10 % da sua resistência à compressão). Conseqüentemente, é imprescindível a necessidade de aderir ao concreto um material com alta resistência à tração, com o objetivo deste material, disposto convenientemente, resistir às tensões de tração atuantes. Dessa maneira, o termo *concreto armado* surge, funcionando de modo que as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão, no que pode ser auxiliado também por barras de aço, havendo uma interação entre os dois materiais (BASTOS, 2006).

---

<sup>1</sup> Entende-se neste contexto *mais leve* como sendo as partículas de menor tamanho, logo, mais leves. Não sendo considerada sua densidade.

Segundo a NBR 7480 (ABNT, 2007), os aços possuem diversas formas de se classificarem, tais como: diâmetro nominal, obtenção do produto siderúrgico, resistência de escoamento, entre outros. Quanto ao diâmetro nominal, geralmente, são considerados fios quando o seu diâmetro é igual ou inferior a 10mm e barras quando possuem o diâmetro igual ou maior a 6,3mm.

Aço é uma liga metálica composta principalmente de ferro e de pequenas quantidades de carbono (em torno de 0,002% até 2%). Os aços estruturais para construção civil possuem teores de carbono da ordem de 0,18% a 0,25%. Entre outras propriedades, o aço apresenta resistência e ductilidade, muito importantes para a Engenharia Civil. Este material, adequadamente dimensionado e detalhado, resiste muito bem à maioria dos tipos de sollicitação. Mesmo em peças comprimidas, além de fornecer ductilidade, o aço aumenta a resistência à compressão. (PINHEIRO, 2007, p. 21).

Outra classificação refere-se à resistência de escoamento, medida em kgf/mm<sup>2</sup>, variando entre CA 25, CA 50 e CA 60. O aço CA 60 é considerado como fio e os demais são considerados como barras (nervuradas ou lisas).

As tabelas 4 e 5 apresentam, respectivamente, apresenta as características das barras e fios de aço, comumente encontradas no mercado, de acordo com a NBR 7480 (ABNT, 2007).

Tabela 4 – Características das barras

Diâmetro nominal <sup>1</sup> mm	Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais	
	Massa nominal <sup>2</sup> Kg/m	Máxima variação permitida para massa nominal	Área da seção mm <sup>2</sup>	Perímetro mm
6,3	0,245	± 7%	31,2	19,8
8	0,395	± 7%	50,3	25,1
10	0,617	± 6%	78,5	31,4
12,5	0,963	± 6%	122,7	39,3
16	1,578	± 5%	201,1	50,3
20	2,466	± 5%	314,2	62,8
22	2,984	± 4%	380,1	69,1
25	3,853	± 4%	490,9	78,5
32	6,313	± 4%	804,2	100,5
40	9,865	± 4%	1256,6	125,7

<sup>1</sup> - Outros diâmetros nominais podem ser fornecidos a pedido do comprador, mantendo-se as faixas de tolerância do diâmetro mais próximo

<sup>2</sup> - A densidade linear de massa (em quilogramas por metro) é obtida pelo produto da área da seção nominal em metros quadrados por 7.850 kg/m<sup>3</sup>

Tabela 5 – Característica dos fios

<b>Diâmetro nominal mm</b>	<b>Massa e tolerância por unidade de comprimento</b>		<b>Valores nominais</b>	
<b>Fios</b>	<b>Massa nominal Kg/m</b>	<b>Máxima variação permitida para massa nominal</b>	<b>Área da seção mm<sup>2</sup></b>	<b>Perímetro mm</b>
2,4	0,036	± 6%	4,5	7,5
3,4	0,071	± 6%	9,1	10,7
3,8	0,089	± 6%	11,3	11,9
4,2	0,109	± 6%	13,9	13,2
4,6	0,13	± 6%	16,6	14,5
5	0,154	± 6%	19,6	15,7
5,5	0,187	± 6%	23,8	17,3
6	0,222	± 6%	28,3	18,8
6,4	0,253	± 6%	32,2	20,1
7	0,302	± 6%	38,5	22
8	0,395	± 6%	50,3	25,1
9,5	0,558	± 6%	70,9	29,8
10,5	0,617	± 6%	78,5	31,4

Fonte: NBR 7480 (ABNT, 2007, p. 11).

Além disso, o aço apresenta algumas propriedades mecânicas exigíveis destinadas às armaduras para concreto armado, que de acordo com a NBR 7480 (ABNT, 2007), são imprescindíveis para o dimensionamento da mesma. Essas propriedades variam de acordo com a categoria do aço, sendo elas: resistência característica de escoamento ( $f_{yk}$ ), limite de resistência ( $f_{st}$ ), alongamento após ruptura em  $10\phi$  (A) e alongamento total na força máxima (Agt).

### 2.1.2 Segregação

Intimamente ligada à relação de como se dá a vibração do concreto, a segregação tem papel fundamental no que diz respeito à condição de trabalhabilidade do concreto. Além disso as operações de lançamento com energia demasiada ou excesso de vibração faz com que a argamassa se separe dos agregados graúdos, tornando o concreto mais ou menos coeso.

A segregação pode ser definida como a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea, de modo que suas distribuições não sejam mais uniformes. No caso do concreto, as diferenças entre as dimensões das partículas e entre a massa específicas dos constituintes da mistura são as principais causas da segregação, mas seu grau pode ser controlado pela escolha da granulometria apropriada e pelo manuseio cuidadoso. (NEVILLE, 2016, p. 215).

Portanto, a resistência à segregação pode variar de acordo com a dosagem de água, e da relação água/finos, bem como o uso de aditivos promotores de viscosidade. Além disso, pode-se promover a restrição do diâmetro máximo do agregado graúdo, visando diminuir a variação do peso das partículas entre os constituintes do concreto.

Existem duas formas de segregação. Na primeira, as partículas maiores tendem a se separar em virtude de suas tendências de se deslocar em superfícies inclinadas e de se assentar mais do que partículas mais finas. A segunda forma de segregação ocorre principalmente em misturas com excesso de água e é manifestada pela separação da pasta (cimento e água) da mistura. (NEVILLE, 2016, p. 215).

A avaliação da segregação baseia-se na capacidade de avaliação e interpretação dos tecnólogos de concreto através de observação visual. Recorrentemente ocorre a inspeção do concreto endurecido por testemunhos extraídos que, geralmente, auxiliam na conclusão se houve segregação excessiva, através de ensaios de ultrassom (METHA; MONTEIRO, 2014).

### 2.1.3 Aderência

O bom funcionamento do concreto armado depende da eficiência da ligação aço-concreto. Essa ligação entre os materiais é o principal responsável do bom desempenho do concreto armado, sendo essa uma das razões básicas pela qual tal união é considerada uma solução viável. Dentre outras coisas, a função da aderência é garantir que os dois materiais trabalhem em conjunto resistindo solidariamente aos esforços solicitantes.

A eficácia em relação à resistência das estruturas de concreto armado possui relação com o comportamento conjunto entre a armadura e o concreto. Esse comportamento solidário aumenta a capacidade de carga resistida. Conhecer a capacidade a ser resistida é indispensável para que seja verificado o correto dimensionamento do elemento estrutural, principalmente para que seja determinado com cautela a armadura a ser inserida no concreto, como comprimento de ancoragem, bitola, entre outros (TAVARES, 2012).

A aderência também pode ser ponderada como sendo o mecanismo de transferência de tensões que existe na interface entre a barra de aço da armadura e o concreto que a envolve. A forma usual de consideração dessa ligação tem sido por meio da definição de uma *tensão de aderência*, e sua distribuição ao longo da interface tem sido exaustivamente investigada, já que seu conhecimento é essencial para a compreensão do comportamento de ancoragens retas, dos ganchos e das emendas (FERNANDES, 2000).

## 2.1.4 Durabilidade da estrutura

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), a durabilidade do elemento, seja ele qual for, está diretamente ligada ao custo global do mesmo, já que é uma exigência do usuário. Ela termina a partir do momento em que se torna obsoleta, no que diz respeito à capacidade de se cumprir as funções para a qual foi projetada. O intervalo de tempo compreendido entre o início do uso ou de operação do sistema e o término da capacidade da mesma de atender as exigências pré-estabelecidas, se chama *vida útil*.

Além da capacidade de resistência e o desempenho de serviço, também existe a durabilidade como requisito de qualidade da estrutura, sendo este fator a capacidade da estrutura de conservar suas características de segurança, estabilidade, estanqueidade e estética, resistindo às influências do meio ambiente onde ela está localizada, preservando sua integridade sem a necessidade de reparos. (SANTOS, 2014, p. 20).

Para garantir a durabilidade da estrutura, alguns parâmetros são utilizados como base para sua avaliação, sendo os mais relevantes: Classe de agressividade ambiental (CAA), relação água/cimento e cobrimento.

### 2.1.4.1 Classe de Agressividade Ambiental

No item 6.4 da NBR 6118 (ABNT, 2014) é definido que “[...] a classe de agressividade do ambiente está relacionada a ações físicas e químicas que atuam sobre estruturas de concreto, independente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.”.

A tabela 6 apresenta as variações das classes de agressividade ambiental, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 6 – Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>ab</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>ab</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>ac</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais brande (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais brande (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuvas em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118, (ABNT, 2014, p. 17).

A partir da tabela 6, utilizando o tipo de ambiente em que a construção se localiza como dado de entrada, é possível definir em qual classe de agressividade ambiental o projeto se enquadra.

#### 2.1.4.2 Relação água/cimento

No item 7.4.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014), é informado que devido a existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, recomenda-se a utilização de requisitos mínimos para sua dosagem.

A tabela 7 apresenta a correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 7 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>bc</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,6$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturas de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturas de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118, (ABNT, 2014, p. 18).

A partir da tabela 7, utilizando o tipo de classe de agressividade ambiental em que a construção se localiza como dado de entrada, é possível definir em qual a relação água/cimento mais indicada.

#### 2.1.4.3 Cobrimento

No item 7.4.7 da NBR 6118 (ABNT, 2014) é estabelecido que para atender aos requisitos mínimos, o cobrimento mínimo da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado. Para garantir o cobrimento mínimo ( $C_{min}$ ), o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal ( $C_{nom}$ ), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução ( $\Delta c$ ).

A tabela 8 apresenta a correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal para concreto armado e concreto protendido, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 8 – Correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto Armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contra piso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas 7.4, 7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm

Fonte: NBR 6118, (ABNT, 2014, p. 20).

A partir da tabela 8, utilizando o tipo de classe de agressividade ambiental e o elemento de construção como dado de entrada, é possível definir o cobrimento nominal mais indicado, considerando  $\Delta c = 10$ mm.

### 2.1.5 Produção do concreto

A produção do concreto é, basicamente, subdivida em cinco etapas, sendo: Mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura. O acompanhamento de cada etapa é primordial para garantir a qualidade do concreto. Além disso, deve ser considerado o efeito da hidratação do cimento Portland e do calor de hidratação desprendido em sua reação química até o início da pega. Em seguida serão apresentadas as particularidades de cada etapa.

### 2.1.5.1 Mistura

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), os componentes do concreto devem estar misturados até formar uma massa homogênea. Esta operação pode ser executada na obra, na central de concreto ou em caminhão-betoneira. Os equipamentos de mistura utilizados para este fim, bem como sua operação, devem atender às especificações do fabricante quanto à capacidade de carga, velocidade e tempo de mistura.

### 2.1.5.2 Transporte

Nas palavras de Bauer (2000) apud Branco e Pieretti (2012) “O sistema de transporte do concreto, do equipamento de sua fabricação ao local de aplicação, depende do tipo, da localização e do volume da obra. Muitas vezes, a trabalhabilidade com que o concreto tem que ser utilizado depende desse tipo de transporte”.

O concreto deve ser transportado do local do amassamento ou da boca de descarga do caminhão betoneira até o local da concretagem num tempo compatível com as condições de lançamento. O meio utilizado para o transporte não deve acarretar desagregação dos componentes do concreto ou perda sensível de água, pasta ou argamassa por vazamento ou evaporação. (NBR 14931 ABNT, 2004, p. 19).

Para o canteiro de obra, deve-se prever o lançamento direto do concreto nas fôrmas, evitando o uso de depósitos intermediários. Nas situações que este procedimento for inviável, o manuseio do concreto deve ser realizado com precauções para evitar segregação do material.

### 2.1.5.3 Lançamento e Adensamento

De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004), o concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura, além dos componentes embutidos previstos no projeto, sejam adequadamente envolvidos na massa de concreto. Em nenhuma hipótese deve ser realizado o lançamento do concreto após o início da pega. Além disso, o concreto deve ser lançado o mais próximo possível de sua posição definitiva, evitando-se incrustação de argamassa nas paredes das formas e nas armaduras.

O processo de moldagem do concreto fresco nas formas é conhecido como adensamento. Sua principal finalidade é eliminar espaços vazios e de ar retido. Dos diferentes métodos que essa operação pode ser realizada, destacam-se o método manual (através do

socamento por hastes) ou método mecânica (através de vibradores, placas mecânicas ou compactadores à percussão) (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

#### 2.1.5.4 Cura

O conjunto de medidas que são executadas para evitar a evaporação precoce da água é conhecida como cura. Tal processo tem por finalidade evitar a evaporação precoce da água e conseqüentemente prejudicar a hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto. Isso deve ocorrer até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante. Com a realização conveniente da cura, a qualidade do concreto passa a ter um maior desempenho, resultando em uma redução de sua porosidade e favorecendo o aumento da durabilidade das estruturas (BARDELLA, 2005).

A cura do concreto tem dois objetivos principais, que são: evitar a perda de umidade e controlar a temperatura por um período suficiente para atingir o nível de resistência desejado (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Embora a NBR 9062 (ABNT, 2017) faça distinção de curas considerando o tempo (normal ou acelerada) diversos estudos já foram realizados quanto aos tipos de curas coerentes para o concreto. Dentre elas, convencionalmente, utiliza-se a cura por saturação normal, que segundo a mesma norma, recomenda que enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser protegido contra agentes prejudiciais, como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, agentes químicos, bem como choque e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuração na massa do concreto, ou prejudicar a sua aderência à armadura.

#### 2.1.5.5 Hidratação do cimento Portland e calor de hidratação

O cimento Portland adquire a propriedade de aglutinação somente quando misturado com água. Tal fato se explica devido a reação química do cimento com água, denominada de hidratação do cimento, resulta em produtos que possuem características de endurecimento. Assim, o conhecimento da velocidade da reação é de extrema importância para que seja analisado o tempo de pega (MEHTA; MONTEIRO, 2014)

Como o cimento Portland é composto de uma mistura heterogênea de vários compostos, o processo de hidratação consiste em reações simultâneas dos compostos

anidros com água. Entretanto, nem todos os compostos se hidratam à mesma velocidade. Os aluminatos são conhecidos por se hidratarem a uma velocidade muito mais rápida do que os silicatos. Na verdade, as características de enrijecimento (perda de consistência) e pega (solidificação) de uma pasta de cimento Portland são amplamente determinadas por reações de hidratação envolvendo os aluminatos. (MEHTA; MONTEIRO, 2014, 227).

Os dois estados do concreto dependem exclusivamente da utilização de água. Quando no estado fresco, a mistura deve ser coesa, homogênea e possibilitar uma fácil trabalhabilidade, adequado ao elemento estrutural a ser concretado. Quando no estado endurecido deve desenvolver resistência mecânica. Em ambos os casos, a água funciona como agente ligante, ou seja, é através do contato da água com o cimento que inicia a reação de hidratação realizando a formação de produtos hidratados (CINCOTTO, 2011).

Os termos *reação de hidratação* e *calor de hidratação* são, por conseguinte, termos muito úteis que descrevem uma realidade física. Esta simplicidade de vocabulário, porém, pode ser confusa uma vez que o cimento Portland não é um material puro e bem definido, mas ao contrário é um material multifásico, cuja composição pode variar dentro de uma faixa muito larga. Este vocabulário simples, de fato, integra o desenvolvimento de uma série de diferentes reações químicas complexas, que são todas exotérmicas e, por conseguinte, contribuem para aumentar a temperatura do concreto. (AİTCIN, 2000, p. 362).

As reações de hidratação dos compostos do cimento Portland tendem a serem exotérmicas, ou sejam, liberam calor para o meio. Neste caso, o calor de hidratação passa a ter papel de extrema relevância no que diz respeito às condições ambientais em que o concreto é produzido. Além disso, o calor de hidratação pode ser usado para caracterizar o comportamento de pega do concreto, avaliando em conjunto com o acréscimo de temperatura (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O termo pega se refere à solidificação da pasta plástica de cimento. O início da solidificação, chamado de início de pega, marca o ponto em que a pasta se torna não trabalhável. Da mesma forma, as operações de lançamento, compactação e acabamento do concreto se tornam difíceis após esse estágio. A pasta não se solidifica repentinamente; é necessário um tempo considerável para se tornar completamente rígida. (MEHTA; MONTEIRO, 2014, 238).

O processo de hidratação do cimento Portland é acompanhado pela liberação de energia em forma de calor, ou seja, as reações são exotérmicas. Assim, como os compostos não se hidratam a uma mesma velocidade, as taxas de liberação de calor no processo de hidratação também são individuais. A tabela 9 mostra a quantificação do calor de hidratação de cada composto anidro do cimento Portland durante sua hidratação.

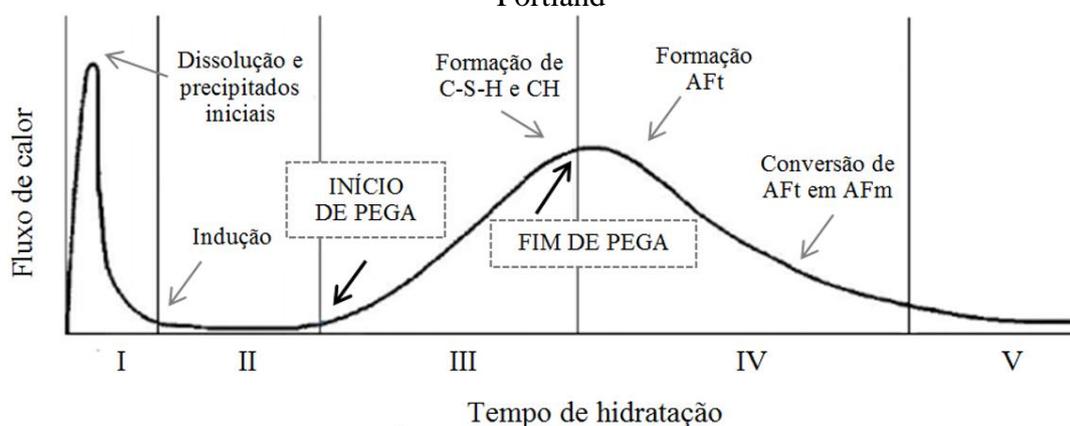
Tabela 9 – Calor de hidratação de compostos do cimento Portland a uma dada idade

Composto	Calor de hidratação (cal/g)		
	3 dias	90 dias	13 anos
C3S	58	104	122
C2S	12	42	59
C3A	212	311	324
C4AF	69	98	102

Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

A evolução de calor, relacionada com a reação de hidratação do cimento, pode ser ilustrada conforme a figura 1.

Figura 1 – Representação esquemática da taxa de liberação do calor de hidratação do cimento Portland



Fonte: Salum (2016).

Analisando a figura 1, observa-se que na etapa I há uma alta liberação de calor e isso ocorre devido ao início das reações que o cimento desencadeia em contato com a água, promovendo a liberação de íons. Na etapa II, inicia-se o processo de indução/dormência, ou seja, ocorre estagnação da hidratação do cimento Portland devido a presença de gipsita, diminuindo drasticamente sua temperatura.

No processo seguinte, ou seja, na etapa III, a

hidratação é novamente acelerada e controlada pela nucleação e crescimento dos produtos de reação. Elevasse a taxa de hidratação do C3S e o segundo estágio de C-S-H é formado. Além disso, com o C2S também ocorre significativa hidratação, porém a taxas menores, uma vez que é um componente menos reativo. O hidróxido de cálcio cristalino precipita-se e a concentração de íons  $\text{Ca}^{+2}$  na fase líquida começa a sofrer redução. (SALUM, 2016, p. 41).

Na sequência, denominada de etapa IV, ocorre o decréscimo de calor liberado. Concomitantemente com estudos realizados, nessa etapa, através de análises de

comportamento da curva de calorimetria, pode-se verificar aproximadamente o tempo de pega necessário para o endurecimento do concreto.

Como na literatura não é fixado os parâmetros para determinar o período de início de pega, adotou-se como critério a evolução positiva de temperatura de 1°C por hora, sem taxas negativas de evolução de temperatura posteriores.

Na etapa V, a última deste processo, ocorre a formação de novos hidratos, pois, ocorre a reação dos íons  $Al^{3+}$  remanescentes, juntamente com os hidratos precipitados dos íons  $CA^{2+}$  formando uma proteção hidrofóbica em torno do grão de cimento, impedindo contato da água livre com a parte não hidratada.

## 2.2 RETRAÇÃO

Nas palavras de Batiston (2007, p. 6), “[...] a retração é um fenômeno que está relacionado à variação macroscópica do volume de peças à base de cimento, tendo como principal patologia resultante a fissuração”.

A retração é um processo que acontece em qualquer material formado a partir do emprego de aglomerantes minerais, é consequência da movimentação da água no interior do próprio material e desse para o exterior, em processos de exsudação e evaporação ou de ambas as formas, atuando conjuntamente. (RECENA, 2014, s.p.).

As deformações na pasta do cimento, argamassas e concreto estão diretamente associadas ao fenômeno da retração, principalmente, devido à perda de água. Mesmo quando não há presença de carregamento, a retração tende a ocorrer por diversos fatores relacionados tanto com a composição do concreto, quanto pelo ambiente em que o elemento estrutural se encontra.

O surgimento de fissuras, que posteriormente servirão como porta de entrada para diversos agentes agressivos, promovedores de manifestações patológicas, possuem relação diretamente proporcional com a retração do concreto que compõem a estrutura. Esse problema também afeta durabilidade dos materiais, devido a facilitação do ataque de agentes agressivos ao material. Algumas características do elemento favorecem ou diminuem o efeito da retração que depende, dentre outros, da geometria do elemento estrutural, da resistência do material, do grau de restrição às deformações e principalmente da tendência do material em retrair (NEVILLE, 1997).

A prática mostra que não é possível eliminar a retração por completo, pois, os próprios materiais componentes do concreto tendem a sofrer esse efeito (retração autógena).

Do mesmo modo, apesar da complexibilidade dos estudos a serem efetuados a seguir, o entendimento do tipo de retração mais crítica que ocorre no elemento estrutural facilita o diagnóstico para que a ação corretiva e preventiva seja tomada. Esses estudos se justificam ao passo que este fenômeno afeta a integridade da estrutura bem como sua durabilidade.

### **2.2.1 Retração hidráulica ou por secagem**

As variações volumétricas que ocorrem por perda de massa, isto é, por evaporação da água excedente do processo de hidratação recebe o nome de retração por secagem. Este fenômeno pode ser considerado o principal responsável pela deterioração das estruturas de concreto e também pela diminuição da durabilidade do elemento estrutural. A execução tem papel fundamental neste tipo de retração e a hidratação do cimento deve ser feita de maneira correta até que inicie a pega do concreto (SENISSE, 2010).

A retração hidráulica é um fenômeno que ocorre no concreto, submetido ou não a carregamento, devido à perda de umidade, uma vez exposto ao meio ambiente e permitida sua secagem. Ela é responsável por praticamente toda a deformação total por retração do concreto. Um elemento de concreto com restrição de deformação por retração pode desenvolver tensões que levam à formação de fissuras, através das quais agentes agressivos podem penetrar e causar algum dano à armadura, reduzindo sua resistência e durabilidade. (DELLINGHAUSEN, 2009, p. 26).

A retração por secagem é um fenômeno inevitável sempre que tais elementos são expostos à umidade abaixo da condição de saturação. A retração em compósitos derivados de cimento está diretamente ligada à ocorrência de fenômenos patológicos nas construções, sendo uma das principais causas da fissuração e surgimento de manifestações adversas ao concreto.

A retração por secagem, ou retração hidráulica, é definida como a diminuição do volume da peça de concreto devido à remoção da água da pasta endurecida de cimento, quando o concreto *seca* pelo contato com o ar. O fenômeno é natural e ocorre como consequência da hidratação dos compostos anidros dos cimentos Portland. Para a explicação do fenômeno é importante saber que existem diversos tipos de água e com graus diferentes de dificuldade para serem removidos, como água livre, água capilar, água interlamelar (água de gel), água adsorvida e água de cristalização. (LAPA, 2008, p. 12).

Os fatores influentes na ocorrência da retração autógena é a diferença de módulo de elasticidade entre a pasta e os agregados; a quantidade e a dimensão dos agregados utilizados, sendo que quanto maior, menor será a deformação por retração; o consumo de cimento e de água na mistura; a utilização de adições booleanas e escórias de alto forno; utilização de aditivos superplastificantes e a espessura da peça concretada. (ONGHERO, 2013, p. 23).

Dentre vários fatores que influem na retração por secagem, o teor de água utilizado é o mais relevante, pois, influencia diretamente no tamanho e quantidade de poros. É notório, portanto, que quanto maior a relação água/cimento, maior a porosidade. Quando produzidos com baixo teor de água, o concreto apresentará baixa quantidade de água nos poros e, conseqüentemente, haverá redução na retração por secagem.

Uma maneira de prevenir a retração por secagem é a cura, que deve ser iniciada tão logo iniciem as reações de hidratação do cimento. Atenção especial deve ser dada quando da utilização de cimentos de alta resistência inicial. O procedimento de cura eficiente, no combate à retração por secagem, não precisa contemplar o suprimento de água para ser absorvida pelo material, mas simplesmente deve impedir a perda de água da superfície do mesmo. Portanto, a simples utilização de membranas impermeáveis para proteção da superfície exposta deve ser eficaz no combate à retração por secagem. (KUMM, 2009, p. 11).

A retração por secagem se inicia na superfície do concreto e progride com certa rapidez através do concreto, dependendo da umidade relativa do ar e do tamanho dos capilares. Suas principais causas são a relação água/cimento, o consumo de cimento, a granulometria de seus componentes e a temperatura ambiente. Principalmente nas primeiras idades, que ocorre a aplicação da cura, há um desgaste natural do concreto devido ao processo constante de molhagem e secagem, fazendo com que haja variação do volume devido à expansão e retração dos compósitos do concreto na presença de água.

### **2.2.2 Retração por carbonatação**

A retração por carbonatação ocorre quando o gás carbônico do ar reage com compostos hidratados do cimento na pasta endurecida, aumentando, portanto, a sua massa. Para cada mol de portlandita  $\text{Ca(OH)}_2$  - que se transforma em calcita -  $\text{CaCO}_3$  - o ganho de massa é de 35%. A retração por depressão capilar ocorre devido ao efeito da carbonatação nos componentes do cimento, que diminui os espaços entre as partículas sólidas de sua estrutura interna.

É o produto de uma reação química entre o  $\text{CO}_2$  da atmosfera e os compostos hidratados do cimento, especialmente  $\text{Ca(OH)}_2$ . A reação de carbonatação gera água que ao evaporar-se aumenta a retração de secagem. Se a umidade relativa do ambiente for inferior a 25%, não haverá água suficiente nos poros da pasta de cimento para a reação química de carbonatação. No outro extremo quando os poros estão cheios de água, é muito lenta a difusão do  $\text{CO}_2$  e a retração devido à reação de carbonatação é pequena. (DINIZ, FERNANDES, KUPERMAN, 2011, p. 675).

A retração por carbonatação, se difere da retração por secagem pelo fato de que é causada por reação química e não pela perda de água da mistura. A combinação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) com a água como ácido carbônico, reage com produtos da reação do cimento, principalmente a portlandita (hidróxido de cálcio). (ONGHERO, 2017, p. 51).

A combinação do dióxido de carbono da atmosfera com os componentes hidratados do cimento, especialmente do hidróxido de cálcio, são os principais responsáveis pela causa deste tipo de retração. Além disso, as condições do ambiente, diminuição do pH da mistura, umidade relativa tanto no interior quanto no ambiente em que se está submetido e a despassivação do aço tendem a contribuir para essa manifestação ocorrer, principalmente em concreto armado.

### 2.2.3 Retração plástica

Logo nos primeiros minutos após a moldagem dos elementos, os materiais à base de cimento podem passar a sofrer deformações, submetidos ou não às ações de cargas externas aplicadas. Este tipo de retração é difícil de ser controlada, pois, se processa durante as primeiras horas e, algumas vezes, é acompanhada pela formação de fissuras, geralmente de pequena profundidade e quase imperceptíveis. Essas fissuras por retração plástica podem ser observadas ainda no estado fresco, quando ficam expostos a condições ambientais que causem forte evaporação (SALES, 2006).

A retração plástica ocorre quando a taxa de evaporação é superior à taxa de exsudação. Nos concretos de alto desempenho a exsudação é muito baixa, dado o extremo refinamento dos poros e pequena quantidade de água livre. Assim, a exsudação combate à retração plástica (NEVILLE, 1997).

As condições ambientais, tais como altas temperaturas, efeitos solares, velocidade do vento e baixa umidade relativa do ar influenciam no aparecimento de fissuras por retração plástica, que podem ser facilmente eliminadas com medidas preventivas que inibam a migração da água para a superfície da estrutura (formas ou atmosfera) quando o concreto ainda estiver fresco. (TAVARES, 2008, p. 46).

Nas palavras de Kumm (2009. p. 11) “[...] a retração por secagem difere da retração plástica por ocorrer após o fim da pega. Também consiste na perda de água por evaporação, em ambientes cuja Umidade Relativa é inferior a 100%.”. Assim sendo, evidencia-se que métodos de execução realizados de maneira correta tendem a reduzir este

tipo de retração plástica, sendo o controle da temperatura e o procedimento de cura os principais responsáveis para evitar este efeito.

#### 2.2.4 Retração autógena

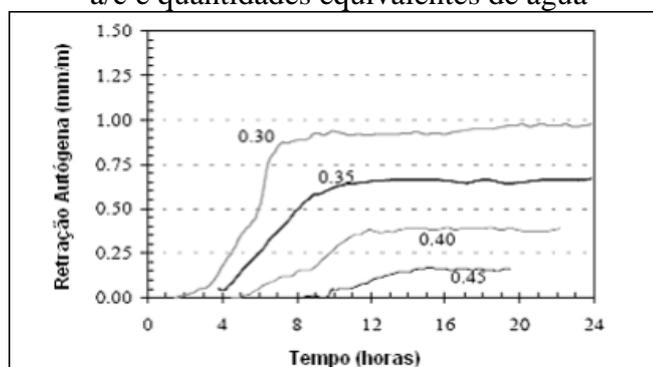
O adjetivo *autógeno* designa, neste contexto, certo estado termodinâmico: um sistema está sob condições autógenas quando não perde ou ganha massa, não sofre variações térmicas e nem está submetido a forças externas.

Sua principal característica é a variação de volumes mesmo quando submetido à temperaturas e condições ambientais constantes e também ocorre sem perda de umidade da mistura cimentícia para o meio ambiente. Além disso, é causada pela redução da umidade relativa no interior dos poros em decorrência da evolução da hidratação do cimento (POWERS, 1968).

A retração autógena é mais significativa em concretos com baixa relação água/aglomerante (abaixo de 0,40). Isto ocorre pelo aumento da densidade da estrutura da pasta e a consequente diminuição do diâmetro de seus poros que gera uma maior intensidade das depressões capilares. (BATISTON, 2007, p. 15).

Logo, a retração autógena é um problema que atinge materiais de baixa relação a/c e alto teor de finos, como os concretos de alto desempenho. A retração autógena pode ocasionar tensões que levem à fissuração e comprometimento estético, funcional e estrutural quando o material está restringido (KUMM, 2009).

Figura 2 – Medidas de retração autógena em amostras de argamassa, com diferentes relações a/c e quantidades equivalentes de água



Fonte: KUMM (2009, p. 9).

Acima apresenta-se um diagrama Retração Autógena (mm/m) x Tempo (horas), que se nota que a retração tende a se estabilizar depois de um certo período de tempo. Este período de tempo até estabilizar o elemento depende, invariavelmente, da relação água/cimento.

### 2.2.5 Retração térmica

De forma geral, os sólidos sofrem expansão na presença de calor e contração quando expostos ao frio. A deformação associada à mudança de temperatura dependerá do coeficiente de dilatação térmica e da magnitude da queda ou aumento da temperatura. O concreto, de forma geral, comporta-se bem nas temperaturas de serviço, apresentando problemas somente quanto exposto a temperaturas extremas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Os efeitos da temperatura no concreto podem ter, tanto origem interna, quanto externa. Fatores de origem externa são as condições climáticas, a umidade do ar e a ação do vento. O principal fator interno é o calor de hidratação gerado pelo cimento. Estes fatores geram tensões internas, que provocam fissurações nas estruturas. Este problema é relatado mais comumente em grandes estruturas maciças, como barragens, mas pode ocorrer em elementos estruturais de menores dimensões, especialmente quando a retração térmica vem acompanhada da retração hidráulica. O efeito que provoca maior fissuração é a retração térmica, porém a dilatação térmica do concreto pode provocar fissuras por levantamento, quando não se dispõe de juntas de dilatação adequadamente espaçadas, que podem levar à fragmentação do concreto. Se não houvesse restrição ou dificuldade no desprendimento de calor, o problema da fissuração não existiria. Porém, a existência de armaduras, o contato com as fundações, sejam essas em rocha ou em concreto já endurecido e as diferenças de temperatura às quais os concretos estão expostos, a fissuração acaba se tornando inevitável. Neste sentido, tem-se buscado minimizar os efeitos externos e alterar as características dos cimentos utilizados, visando a redução do problema relacionado à temperatura (GRAÇA; BITTENCOURT; SANTOS, 2005).

Em suma, levando em consideração o que foi supracitado, a retração térmica é uma deformação devida à contração que ocorre quando o concreto quente é resfriado à temperatura ambiente. Ocorre geralmente em elementos com grande volume de concreto e em elementos do tipo laje e pilar. Ela tem origem após a ocorrência do pico de evolução da temperatura por acúmulo de calor de hidratação (devido ao componente do cimento presente no concreto) e ao sofrer aquecimento por uma extrema fonte de calor externa.

## 2.3 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Para dar início a realização da metodologia a ser aplicada no capítulo a seguir, algumas considerações se fazem necessárias no intuito de facilitar o entendimento dos

assuntos discutidos, bem como restringir as diversas variáveis que podem ocorrer no estudo do concreto.

Conforme descrito no item 2.1.2 a segregação está ligada à relação de como ocorre a vibração do concreto. Além disso as operações de lançamento com energia demasiada ou excesso de vibração em elementos verticais do tipo pilar faz com que os componentes de menor massa do concreto, ou seja, aditivo, água e cimento segreguem, tornando o concreto com características heterogêneas e de baixa coesão. A relação entre a segregação, afeta diretamente dois tipos de retrações que podem ser manifestadas no concreto, sendo elas: hidráulica e térmica.

A retração hidráulica ocorre sempre que tais elementos são expostos à umidade abaixo da condição de saturação. Suas principais causas são a relação água/cimento, o consumo de cimento, a granulometria de seus componentes e a temperatura ambiente. Obedecendo o prescrito acima, com a segregação dos materiais mais leves, as estruturas do tipo pilar tendem a apresentar maior retração hidráulica no topo de seus elementos estruturais, devido à sua altura em relação a sua seção transversal.

As principais causas da retração térmica são as condições climáticas, a umidade do ar e a ação do vento. Além disso, o principal fator é o calor de hidratação gerado pelo cimento. Corroborando com o que foi apresentado no item 2.1.5.5, com a segregação dos materiais mais leves, as estruturas do tipo pilar tendem a apresentar maior concentração de cimento na parte superior dos elementos estruturais, logo, potencializam a manifestação de retrações térmicas se comparadas com as partes inferiores.

Além disso, o fato da vibração segregar os compósitos líquidos, sobretudo, o aditivo, faz com que suas funções possuam acentuadas manifestações no topo do elemento estrutural. A utilização de plastificante/superplastificantes, por exemplo, tem influência principalmente na hidratação do cimento Portland já que funcionam como redutores de água. Ao adotar uma abordagem química, em relação ao contato do aditivo com a composição química do concreto, sabe-se que em função das interações simultâneas entre os hidratos do cimento e os sulfatos, bem como entre os sulfatos e os superplastificantes, haverá problemas entre a interação dos componentes de modo geral, causando maior porosidade, e por consequência, o surgimento de manifestações patológicas do tipo fissuras.

Em resumo, o modo de adição dos aditivos, do tipo superplastificantes, afeta principalmente as propriedades do concreto no estado fresco, tais como manutenção do abatimento e a incorporação de ar. A utilização desses aditivos em conjunto com a água de amassamento pode aprisionar as moléculas do polímero no sistema  $C_3A$ , especialmente se não

houver balanço entre a reatividade deste componente e a disponibilidade de sulfato solúvel no sistema. Assim sendo, essa adsorção pelo  $C_3A$  tende a reduzir a quantidade de aditivo para dispersar os grãos de cimento, reduzindo sua eficiência. Outros fatores que podem influenciar na adsorção dos aditivos são o tipo e a finura do cimento, a quantidade total de aditivos empregados e a temperatura do sistema.

Cuidados com a dosagem e a seleção do tipo do aditivo empregado para o concreto são indispensáveis para garantir seu funcionamento ideal, bem como a garantia do correto processo de vibração do concreto. Afim de garantir a mínima manifestação de retração provenientes dos diversos mecanismos de ocorrência neste capítulo discutidos.

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa classifica-se como pertencente à terceira grande área de conhecimento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) – Engenharia (GIL, 2010). Quanto à sua finalidade, está classificada como de desenvolvimento experimental, uma vez que seu objetivo é contribuir com a averiguação das possíveis causas de retrações manifestadas em elementos estruturais do tipo *pilar* e verificar as possíveis soluções. Quanto ao objetivo, pode-se classificá-la como exploratória e explicativa. A pesquisa exploratória tem “como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo mais explícito” (GIL, 2010, p. 27). O propósito das pesquisas exploratórias é identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Elas aprofundam o conhecimento da realidade e “por isso mesmo constitui tipo mais complexo e delicado de pesquisa” (GIL, 2010, p. 28).

Esta pesquisa também é bibliográfica, pois,

tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material impresso, como livros, revistas, teses, dissertações e anais de eventos científicos. Todavia, em virtude da disseminação de novos formatos de informação, estas pesquisas passaram a incluir outros tipos de fontes, como [...] o material disponibilizado pela internet. (GIL, 2010, p. 29).

Assim, foi elaborada a revisão bibliográfica que compõe o capítulo 2 deste trabalho, já que, a revisão bibliográfica faz parte do desenvolvimento acadêmico, pois, ela fornecerá subsídios para o entendimento sobre o tópico pesquisado.

#### 3.1 CAMINHOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DO TEMA

As investigações do comportamento do concreto armado tendem a ser infinitas. A todo tempo, pesquisadores do mundo inteiro, procuram se aprofundar ainda mais sobre as características desse material. Este trabalho, portanto, tem caráter científico visando buscar soluções para problemas que frequentemente são verificados em obras.

A identificação do tema foi uma sugestão do orientador Rennan Medeiros, baseado em um relatório realizado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) juntamente com o Grupo de Tecnologia em Materiais à Base de Cimento Portland (GTEC).

Este relatório visava identificar as causas das patologias em relação à heterogeneidade no aspecto visual entre a parte inferior e a parte superior dos elementos

estruturais após a desforma nos pilares do sétimo de um residencial, situado na cidade de Tubarão, em Santa Catarina.

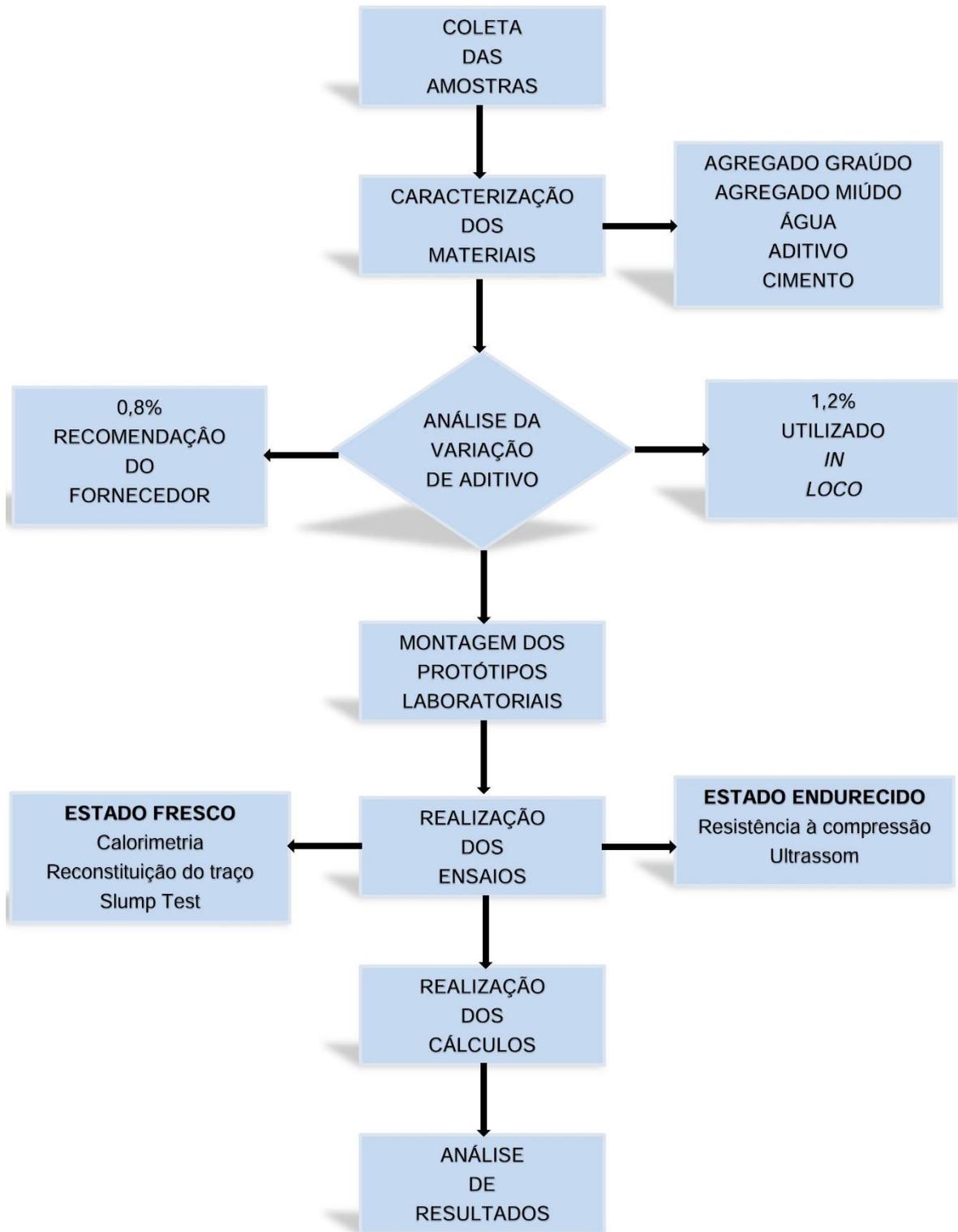
O relatório mencionado acima teve em suas considerações finais, a confirmação de que o problema teria se originado a partir do alto emprego de aditivos e má execução da vibração.

O Trabalho de Conclusão de Curso, portanto, visa entender o comportamento das retrações nos pilares, considerando a comparação entre diferentes teores de aditivos polifuncionais, empregando-se os procedimentos destacados por Prudêncio Jr. e Medeiros (2015) como sendo os utilizados naquela concretagem no referido edifício.

### 3.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento do programa experimental, as atividades foram realizadas no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina, Unisul, no campus de Tubarão. O fluxograma apresentado na Figura 3 sintetiza o delineamento da pesquisa com as etapas adotadas para o desenvolvimento da pesquisa.

Figura 3 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

### 3.3 MATERIAIS

Para este trabalho, foi padronizado um procedimento experimental conforme será descrito a seguir. Visando minimizar as variáveis envolvidas no presente estudo, tomou-se como parâmetros.

- Materiais: coletados de uma única vez, diminuindo as chances de grandes variações, fornecidos pela empresa Traço Forte Concretos LTDA instalada na cidade de São Ludgero – Santa Catarina;
- Tipo de cimento: CP IV Cimento Portland pozolânico, fornecidos pela empresa Traço Forte Concretos LTDA instalada na cidade de São Ludgero – Santa Catarina;
- Tipo de aditivo: Maximent NT 17 fornecido pela empresa Polimix Concreto – Florianópolis, instalada na cidade de São José – Santa Catarina;
- Água: proveniente da rede de abastecimento público da cidade de Tubarão – Santa Catarina, tratada e fornecida pela concessionária de água;
- Estocagem do material em devidas condições;
- Temperatura: fixa em 23 à 25C°, utilizando a sala climatizada do Laboratório de Engenharia Civil para fazer todas as misturas;
- Armaduras: longitudinal de  $\phi 10\text{mm}$  e transversal de  $\phi 6,3\text{mm}$ , fornecidos pela empresa Traço Forte Concretos LTDA instalada na cidade de São Ludgero – Santa Catarina;
- Fôrmas de moldagem: com madeira de Pinus seco de 2,5mm de espessura, fornecidos pela empresa Traço Forte Concretos LTDA instalada na cidade de São Ludgero – Santa Catarina;
- Tipo de misturador: betoneira disponível na sala climatizada.

#### 3.3.1 Agregado graúdo

A tabela 10 apresenta as características dos agregados graúdos empregados nesta pesquisa.

Tabela 10 – Características do agregado graúdo

<b>Características Avaliadas</b>	<b>Brita 1</b>	<b>Brita 0</b>	<b>Parâmetro NBR 7211</b>
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,66	-
Material Pulverulento (%)	0,20	0,32	≤ 1,0
Impurezas Orgânicas (ppm)	< 300	< 300	< 300
Teor de argila em torrões (%)	0,10	0,15	≤ 3,0
Dimensão Máx. Característica (mm)	19,10	9,5	-
Módulo de Finura	6,89	5,1	-
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,49	1,4	-

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005, p. 9).

### 3.3.2 Agregado Miúdo

Neste item serão apresentados os resultados da caracterização dos índices físicos do agregado miúdo utilizado no concreto reproduzido nesta pesquisa. Além do confronto destas propriedades com os parâmetros normativos vigentes. Fez-se uso de uma areia natural fina, com procedência de Içara/SC e uma areia de britagem, de origem granítica, com procedência de Tubarão/SC. A caracterização destas areias é apresentada na tabela abaixo.

Por meio da tabela 11 são apresentadas as propriedades dos agregados miúdos empregados nesta pesquisa.

Tabela 11 – Características do agregado miúdo

<b>Características Avaliadas</b>	<b>Areia Industrial</b>	<b>Areia Fina</b>	<b>Parâmetro NBR 7211</b>
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,59	2,65	-
Material Pulverulento (%)	15,50	0,30	≤ 3,0
Impurezas Orgânicas (ppm)	< 300	< 300	< 300
Teor de argila em torrões (%)	0,40	0,00	≤ 3,0
Dimensão Máx. Característica (mm)	4,75	0,6	-
Módulo de Finura	3,17	1,52	-
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,51	1,49	-

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005, p. 6).

### 3.3.3 Cimento

O cimento utilizado neste trabalho foi o CP IV Cimento Portland pozolânico, que possui as características apresentadas nas tabelas 12, 13 e 14 que seguem. Os dados são provenientes do relatório mensal disponibilizado pela Itambé cimentos referentes à produção do mês de agosto de 2017.

Tabela 12 – Propriedades químicas do cimento

Propriedade (%)	Sigla	Resultado	Parâmetro NBR 5736
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,60	-
Sílica	SiO <sub>2</sub>	29,14	-
Óxido de ferro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,84	-
Óxido de cálcio	CaO	45,89	-
Óxido de magnésio	MgO	2,84	< 6,5
Trióxido de enxofre	SO <sub>3</sub>	2,28	< 4,0
Perda ao Fogo	PF	3,64	< 4,5
Óxido de cálcio livre	CaO L.	0,52	-
Resíduos Insolúveis	RI	25,70	> 8,0
Equivalente Alcalino	Eq. Alc.	1,16	-

Fonte: Cimento Itambé (2017).

Tabela 13 – Propriedades físicas e mecânicas do cimento

Características avaliadas	Resultado Obtido	Parâmetro NBR 5736
Resistência à compressão (MPa)	1 dia	13,4
	3 dias	26,1
	7 dias	35,2
	28 dias	46,2
		-
		≥ 10,0
		≥ 20,0
		≥ 32,0

Fonte: Cimento Itambé (2017).

Tabela 14 – Propriedades do cimento

Características avaliadas	Resultado Obtido	Parâmetro NBR 5736
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,82	-
Expansão a quente (mm)	0,35	≥ 5,00
Tempos de pega	Início (h:min)	4:19
	Fim (h:min)	5:11
Consistência Normal (%)	30,5	-
Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4190	≥ 2.600
Resíduo peneira #200 (%)	0,55	≤ 15,00
Resíduo peneira #325 (%)	3,07	-

Fonte: Cimento Itambé (2017).

### 3.3.4 Aditivo

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o aditivo do tipo Maximent NT 17 produzido pela Matchem – SP Produtos Químicos LTDA, cujas propriedades são apresentadas na tabela 15.

Tabela 15 – Propriedades do aditivo

Parâmetro	Especificação	Resultados	Métodos
Aspecto	Líquido	Aprovado	Visual
Cor	Marrom escuro	Aprovado	Visual
pH (puro) – 25° C	6,00 a 8,00	6,82	ABNT NBR 10908-:2008
Massa específica – 25° C (g/cm <sup>3</sup> )	1,140 a 1,200	1,168	ABNT NBR 10908-:2008
Teor de Sólidos (%)	33,50 a 37,50	34,75	ABNT NBR 10908-:2008

Fonte: Cedido pela Matchem.

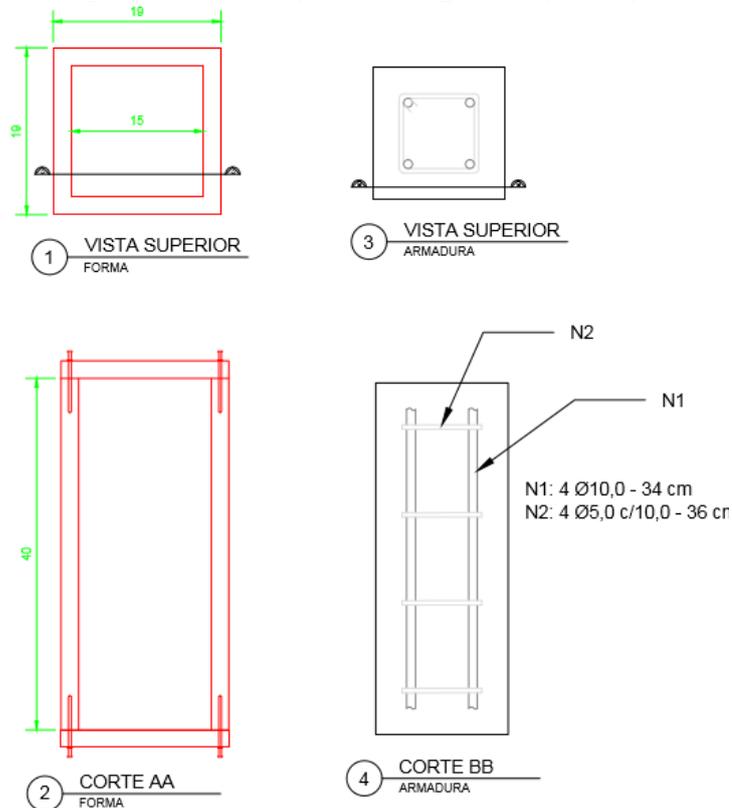
### 3.3.5 Água

A água empregada no amassamento dos concretos foi proveniente do sistema de abastecimento de água de Tubarão para consumo da população. Logo, atende aos parâmetros da NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

### 3.3.6 Protótipos laboratoriais (pilaretes)

Para realização de alguns ensaios foi necessário confeccionar protótipos laboratoriais com dimensões de 15x15x40 cm.

Figura 4 – Projeto das formas para montagem do protótipo laboratorial



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 5 – Protótipo laboratorial



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

### 3.4 DOSAGEM DO CONCRETO

O traço utilizado foi fornecido pela empresa traço Forte Concretos para a produção de concreto com as seguintes características: Concreto bombeável slump test  $(140\pm 20)$  mm e fck 40 MPa aos 28 dias. A tabela 16 apresenta o traço e suas propriedades tecnológicas.

Tabela 16 – Traço kg por m<sup>3</sup> de ambos os traços

TRAÇO	1	2
<b>Aditivo</b>	0,80%	1,20%
<b>Cimento Portland</b>	378	
<b>Areia de Britagem</b>	364	
<b>Areia Fina</b>	454	
<b>Brita 0</b>	282	
<b>Brita 1</b>	658	
<b>Água</b>	149	138
<b>Aditivo</b>	3	5

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

A quantidade de água do traço real era 172 L/m<sup>3</sup>. Esta quantidade foi a praticada na obra em questão. Todavia, para os procedimentos experimentais aqui realizados, houve a necessidade do ajuste do abatimento dos concretos. Logo, como teor de aditivo é uma das variáveis em questão, esta correção no abatimento foi feita pela quantidade de água.

### 3.5 ENSAIOS REALIZADOS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece através de um conjunto de ensaios normatizados os parâmetros mínimos que devem ser atendidos na execução de concretos e argamassas. Tendo em vista os objetivos expostos no item 1.2,

verificou-se quais os principais ensaios que influenciariam na conclusão deste estudo e foram executados visando atender os procedimentos normativos prescritos em suas respectivas NBR, havendo modificações quando julgados necessários, conforme abaixo:

### **3.5.1 Slump test (Ensaio de abatimento)**

Este ensaio é regido pela NBR NM 67 (ABNT, 1998) (Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone).

#### **3.5.1.1 Aparelhagem utilizada**

A aparelhagem necessária para execução do ensaio foi:

- Molde metálico tronco-cônico (altura de 300mm, diâmetro superior de 100mm, diâmetro inferior de 200mm);
- Colarinho metálico;
- Placa metálica, plana, quadrada de base 500x500mm e com espessura de 2 mm;
- Haste metálica de seção circular, reta, feita de aço, com diâmetro de 16mm e comprimento de 600mm, com as pontas no formato semi-esférico;
- Trena;
- Concha metálica.

#### **3.5.1.2 Amostra utilizada**

A amostra que é produzida à base de água, agregados graúdos, agregados miúdos, cimento e aditivo foi executada em laboratório. Para efeitos de análise, foram realizados ensaios com diferentes traços, verificando a diferença na quantidade de aditivo, sendo 0,8 % (conforme recomendação do fornecedor) e 1,2 % (conforme utilização em obra).

#### **3.5.1.3 Ensaio**

A execução do ensaio foi subdividida em treze etapas. A seguir, descrição e ilustração pertinentes ao ensaio realizado:

- 1) Todos equipamentos pertinentes ao ensaio foram limpos e umedecidos.
- 2) Colocou-se o molde sobre a placa base com a abertura de diâmetro menor para cima.

- 3) Antes do preenchimento com concreto, fixou-se o colarinho metálico na parte de cima do molde.

Figura 6 – Etapas executivas do ensaio de slump test I



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 4) Apoiando-se com os pés sobre a placa metálica e segurando as aletas laterais com as mãos, fixou-se o molde metálica de modo que não se deslocasse durante o preenchimento.
- 5) Preencheu-se o cone metálico com três camadas de volumes aproximadamente iguais.
- 6) Adensou-se cada camada com 25 golpes uniformemente distribuídos, de modo que a haste de socamento não atingisse a camada inferior subjacente.
- 7) Retirou-se o excesso de enchimento do molde, sendo, na sequência, rasada a superfície com movimentos vai-e-vem com auxílio de uma colher de pedreiro.

Figura 7 – Etapas executivas do ensaio de slump test II



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 8) Os excessos que caíram durante o socamento foram limpos antes de dar continuidade aos ensaios.
- 9) Levando cerca de 5 segundos para realização desta etapa, levantou-se o molde metálico cuidadosamente, de maneira manual, com velocidade constante e uniforme.
- 10) Colocou-se o molde ao lado da amostra com a parte de maior diâmetro para cima, sendo, na sequência, apoiada a haste de socamento sobre o molde em direção a amostra.

- 11) Imediatamente após a retirada do molde, mediu-se a distância entre a amostra e a haste com auxílio da trena.
- 12) Estas operações foram executadas sem interrupção em um período de tempo não superior a 2min e 30s.

Figura 8 – Etapas executivas do ensaio de slump test III



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 13) Anotou-se a altura verificada entre a haste e a amostra de concreto ensaiada. O resultado previsto pelos autores foi de  $(140 \pm 20)$  mm.

### 3.5.2 Calorimetria (Semi-adiabática)

Por não haver norma técnica envolvida, a descrição que segue abaixo é relevante exclusivamente para as análises dos resultados deste trabalho, e baseou-se na capacidade de avaliação e interpretação dos autores.

#### 3.5.2.1 Aparelhagem utilizada

A aparelhagem necessária para execução do ensaio foi:

- Manta térmica isolante;
- Vibrador;
- Fita adesiva do tipo crepe kraft;
- Caixa térmica (EPS);
- Datalogger – 4 Channel Thermometer – CENTER-309 High Quality;
- Termopares tipo K;
- Notebook.

### 3.5.2.2 Amostra utilizada

A amostra que é produzida à base de água, agregados graúdos, agregados miúdos, cimento e aditivo foi executada em laboratório e lançada no protótipo laboratorial com dimensões de 15x15x40 cm. Para efeitos de análise, foram realizados ensaios com diferente quantidade de aditivo, sendo 0,8 % (conforme recomendação do fornecedor) e 1,2 % (conforme utilização em obra).

### 3.5.2.3 Ensaio

A execução do ensaio foi subdividida em sete etapas. A seguir, descrição e ilustração pertinentes ao ensaio realizado:

- 1) Com manta térmica e com auxílio de fita adesiva, isolou-se o protótipo laboratorial onde a amostra seria lançada,
- 2) Perfurou-se o protótipo laboratorial em 4 pontos pré-estabelecidos, linearmente, nomeados como camada 01, 02, 03 e 04, respectivamente nas alturas de 5, 15, 25 e 35 cm.
- 3) Antes do preenchimento com concreto, inseriu-se os termopares nos locais perfurados.

Figura 9 – Etapas executivas do ensaio de calorimetria (semi-adiabática) I



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 4) Durante o preenchimento do protótipo laboratorial, realizou-se a vibração do concreto em 04 camadas, respeitando a regra de manter o vibrador por  $3 \pm 1$  segundos após a face do concreto *brilhar*. Além disso, foi tomado os devidos cuidados para que não houvesse deslocamento dos termopares previamente inseridos ao protótipo laboratorial.
- 5) Após o preenchimento do protótipo laboratorial, rasou-se a extremidade superior, sendo, na sequência, coberto por completo (incluindo a face superior) o protótipo laboratorial com manta térmica e fita adesiva.

6) Com o protótipo laboratorial disposto na posição vertical alocou-se o mesmo no interior da caixa térmica de EPS em ambiente climatizado.

Figura 10 – Etapas executivas do ensaio de calorimetria (semi-adiabática) II



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

7) Registrou-se as leituras obtidas através do Data Logger, transferindo-as para o notebook para posterior análise de resultados.

### 3.5.3 Reconstituição do traço de concreto

Este ensaio é regido pela NBR 9605 (ABNT, 1992) (Concreto – Reconstituição do traço de concreto fresco). Houve modificações significativas no que está descrito na norma, pois, o objetivo deste ensaio refere-se à comparação entre as camadas da amostra.

#### 3.5.3.1 Aparelhagem utilizada

A aparelhagem necessária para execução do ensaio foi:

- Balança com resolução de 0,5%;
- Peneiras com abertura de malha de 4,8 mm;
- Peneiras com abertura de malha de 0,6 mm;
- Peneiras com abertura de malha de 0,15 mm;
- Recipiente de medida cilíndrico de metal não-atacável com diâmetro de 1,5 e com capacidade de 3,5 dm<sup>3</sup>;
- Placa de vidro cristal com espessura mínima de 4mm;
- Bandejas metálicas;
- Parafusadeira elétrica;
- Estufa.

### 3.5.3.2 Amostra utilizada

A amostra que é produzida à base de água, agregados graúdos, agregados miúdos, cimento e aditivo foi executada em laboratório e lançada no protótipo laboratorial com dimensões de 15x15x40 cm. Para efeitos de análise, foram realizados ensaios com diferente quantidade de aditivo, sendo 0,8 % (conforme recomendação do fornecedor) e 1,2 % (conforme utilização em obra).

### 3.5.3.3 Ensaio

A execução do ensaio foi subdividida em duas etapas, sendo uma para comprovar a segregação dos constituintes do concreto e outro para determinar o volume do concreto fresco e de seus materiais constituintes. As análises nos protótipos laboratoriais serão realizadas por camada e o objetivo principal é a comparação entre o topo e a base da amostra. A seguir descrição e ilustração pertinentes ao ensaio realizado:

1) Rasou-se a extremidade superior após o preenchimento com concreto nos protótipos laboratoriais, e, em seguida, com auxílio da parafusadeira elétrica, foi colocado a tampa no mesmo.

Figura 11 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto I



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

2) Colocou-se o protótipo laboratorial posição horizontal, sendo, na sequência, aberta uma das faces e, cuidadosamente, realizada a separação do material por camadas.

3) Dividiu-se a quantidade em duas frações que foram utilizadas, posteriormente, para os ensaios de segregação e umidade.

4) Para cada camada, pesou-se uma das frações logo após a coleta do material, e foi colocada em bandeja metálica, alocando-a em estufa, posteriormente, com temperatura de  $(100\pm 10)$  °C.

Figura 12 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto II



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 13 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto III



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 5) Antes de iniciar segunda etapa do ensaio precisou realizar a calibração.
- 6) Pesou-se o recipiente juntamente com a placa de vidro com uma balança de precisão 0,5%.
- 7) Preencheu-se o balde metálico com água à temperatura de 22°C juntamente com a placa de vidro plana colocada sobre o mesmo, e, em seguida, após garantir o preenchimento completo com água no recipiente de modo que não fiquem bolhas de ar, a pesagem foi realizada.
- 8) Enxugou-se cuidadosamente as superfícies externas do recipiente, sendo, na sequência, determinado a massa do conjunto.
- 9) Esvaziou-se o recipiente.
- 10) Preencheu-se com a segunda fração de concreto de cada camada, respeitando a linearidade das alturas do lançamento, alocou-se a placa de vidro sobre o recipiente e, na sequência, o conjunto foi pesado.
- 11) Para cada camada, encheu-se o recipiente com água à temperatura de 22 °C, sendo na sequência, coberto com a placa de vidro plana de modo que não fiquem bolhas de ar e pesado.

Figura 14 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto IV



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 15 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto V



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

12) Peneirou-se a mesma fração de concreto utilizada para a determinação do volume através de lavagem sobre as peneiras 4,8 mm e a 0,15 mm sobrepostas.

13) Após o peneiramento e lavagem, secou-se o material retido nas peneiras e foram alocados em estufa a  $(100 \pm 10) ^\circ\text{C}$ . Após secagem, deixou-se resfriar à temperatura ambiente e pesar.

Figura 16 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto VI



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

14) Utilizando os critérios da NBR 7216 (ABNT, 2001), coletou-se amostras de agregados homogêneas e representativas daqueles que compuseram o concreto. A quantidade coletada

para cada agregado foi mínima conforme descrito pela norma, ou seja, 10 kg de agregado miúdo e 20 kg de agregado graúdo.

15) Peneirou-se a quantidade de agregado graúdo e miúdo utilizados para a determinação da segregação através de lavagem sobre as peneiras 4,8mm e a 0,15 mm sobrepostas.

16) Após o peneiramento e lavagem, secou-se o material retido nas peneiras em estufa a  $(100\pm 10)$  °C, sendo, na sequência, deixado esfriar à temperatura ambiente e pesado.

Figura 17 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto VII



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 18 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto VIII



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 19 – Etapas executivas do ensaio de reconstituição do traço de concreto IX



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

17) Realizou-se os cálculos conforme descritos na NBR 9605 (ABNT, 1992) (Concreto – Reconstituição do traço de concreto fresco).

### **3.5.4 Determinação da resistência à compressão**

Este ensaio é regido pela NBR 7680 (ABNT, 2015) (Concreto – Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto).

#### **3.5.4.1 Aparelhagem utilizada**

A aparelhagem necessária para execução do ensaio foi:

- Extratora provido de cálice e coroa diamantada;
- Máquina de ensaio à compressão;
- Máquina faceadora;
- Paquímetro;
- Pratos de compressão (inferior e superior).

#### **3.5.4.2 Amostra utilizada**

A amostra foi extraída de protótipos laboratoriais com dimensões de 75 mm de diâmetro e 150 mm de altura. Para efeitos de análise, foram realizados ensaios com diferente quantidade de aditivo, sendo 0,8 % (conforme recomendação do fornecedor) e 1,2 % (conforme utilização em obra).

#### **3.5.4.3 Ensaio**

A execução do ensaio foi subdividida em nove etapas. A seguir, descrição e ilustração pertinentes ao ensaio realizado:

1) Posicionou-se o cálice da extratora em localidades estrategicamente pré-definidas para que fosse extraído testemunhos de 04 camadas por protótipo.

Figura 20 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão I



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 2) Colocou-se dos moldes em repouso, em câmara úmida.

Figura 21 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão II



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 3) Capeou-se dos testemunhos com retificação, com a finalidade de planar as extremidades dos testemunhos, que posteriormente, seriam ensaiados à compressão.
- 4) Após 28 dias realizou-se a ruptura dos corpos de prova.
- 5) Antes do início do ensaio, a máquina de ensaio foi limpa e higienizada.

Figura 22 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão III



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

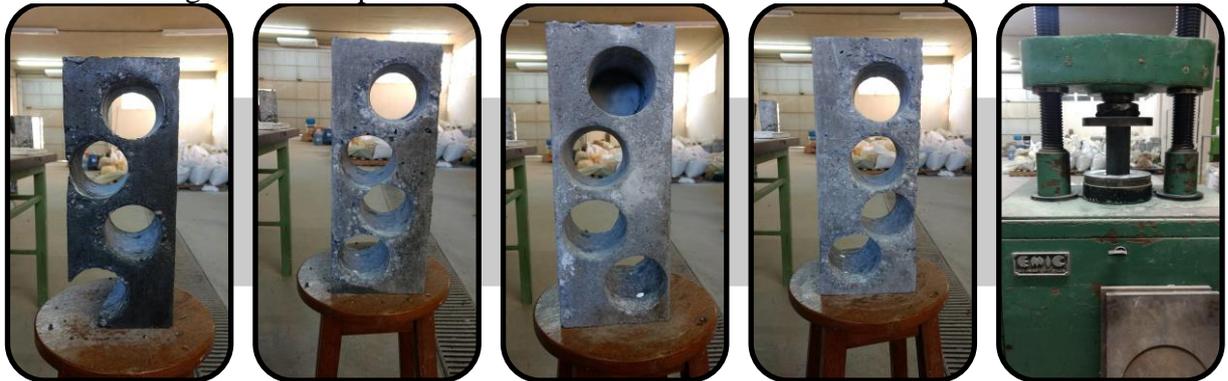
- 6) Determinação da carga de ruptura (calibração).
- 7) Posicionou-se o testemunho no centro da máquina.
- 8) Colocação do corpo de prova na prensa de ensaio (no centro), e aplicado uma carga constante de  $(0,45 \pm 0,15)$  Mpa/s.

Figura 23 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão IV



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 24 – Etapas executivas do ensaio de resistência à compressão V



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 9) Realizou-se os cálculos conforme descritos na NBR 7680 (ABNT, 2015) (Concreto – Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto).

### 3.5.5 Ensaio de ultrassom

O ensaio é regido pela NBR 8802 (ABNT, 2013) (Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica).

#### 3.5.5.1 Aparelhagem utilizada

A aparelhagem necessária para execução do ensaio foi:

- Aparelho de Ultrassom – Pundit Lab (PROCEQ);
- Circuito gerador-receptor;

- Transdutor-emissor;
- Transdutor-receptor;
- Circuito medidor de tempo;
- Cabos coaxiais;
- Barra de transferência.

### 3.5.5.2 Amostra utilizada

A amostra que é produzida à base de água, agregados graúdos, agregados miúdos, cimento e aditivo foi executada in loco e lançada nos protótipos laboratoriais com dimensões de 15x15x40 cm. Para efeitos de análise, foi realizado ensaios com diferente quantidade de aditivo, sendo 0,8 % (conforme recomendação do fornecedor) e 1,2 % (conforme utilização em obra).

### 3.5.5.3 Ensaio

A execução do ensaio foi subdividida em sete etapas. A seguir, descrição e ilustração pertinentes ao ensaio realizado:

- 1) Calibrou-se o aparelho com auxílio da barra de transferência.
- 2) Verificou-se as superfícies dos protótipos laboratoriais confirmando se a faces planas, lisas e isentas de sujeira.
- 3) Aplicou-se uma fina camada de acoplante (gel) na face dos transdutores.
- 4) Posicionou-se os transdutores de acordo com os arranjos de transmissão direta e transmissão indireta, conforme anexo B da NBR referida acima.

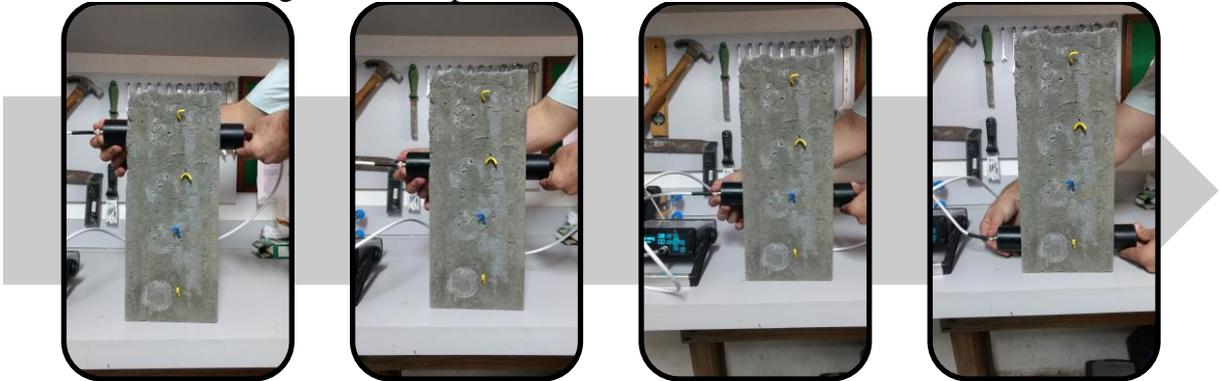
Figura 25 – Etapas executivas do ensaio de ultrassom I



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 5) Registrou-se o menor valor apresentado no mostrador digital para cada leitura. Foi realizado dez leituras e considerada a menor, para cada camada.

Figura 26 – Etapas executivas do ensaio de ultrassom II



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

- 6) Realizou-se os cálculos conforme descritos na NBR 8802 (ABNT, 2013).
- 7) Determinou-se a qualidade do concreto, conforme tabela da Enciclopédia técnica universal, presente na obra Concreto de Cimento Portland, do autor Eládio G.R. Pretrucci – 5ª ed. – Editora Globo, Porto Alegre, 1982.

## 4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na seção corrente serão apresentados, de forma sucinta, os resultados de maior relevância obtidos nos ensaios realizados descritos no item anterior, bem como discutidos a luz do referencial teórico, elucidado no capítulo 2 que contribuíram para o desenvolvimento científico desta pesquisa.

De modo geral, as análises partem da quantidade de aditivo empregada em cada traço, onde, determinou-se conveniente, investigar a quantidade recomendada pelo fornecedor (0,8%) e a utilizada nos pilares do edifício citado no capítulo 3 (1,2%).

Nos ensaios envolvendo protótipos laboratoriais, embora tenha realizado a separação em quatro camadas, denominadas camada 1, camada 2, camada 3 e camada 4 (do topo para a base), as principais comparações serão entre a camada 1 e camada 4.

O comportamento dos traços de concreto, segundo os parâmetros estipulados, é apresentado a seguir.

### 4.1 SLUMP TEST (ENSAIO DE ABATIMENTO)

Os resultados pertinentes ao slump test serviram para padronizar a trabalhabilidade e a consistência do concreto utilizado nos demais ensaios. Foi determinado pelos autores que o slump test deveria obter o resultado de  $(140 \pm 20)$  mm. Foram realizados ensaios de slump test nos concretos para 12 protótipos laboratoriais, sendo 06 de cada traço.

Tabela 17 – Resultados slump test para o traço 1

Slump (mm)	P1	P2	P3	P4	P5	P6
	130	140	140	140	150	150

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Tabela 18 – Resultados slump test para o traço 2

Slump (mm)	P7	P8	P9	P10	P11	P12
	140	140	130	130	140	140

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Como mencionado no item 3.4 do capítulo 3, os abatimentos foram mantidos na mesma classe por meio da variação da quantidade de água. Este controle do abatimento foi feito, pois, a vibração do concreto também é uma variável em estudo. Além disso, a fluidez do concreto está diretamente relacionada a segregação do material quando exposto à excesso de vibração.

## 4.2 CALORIMETRIA (SEMI-ADIABÁTICA)

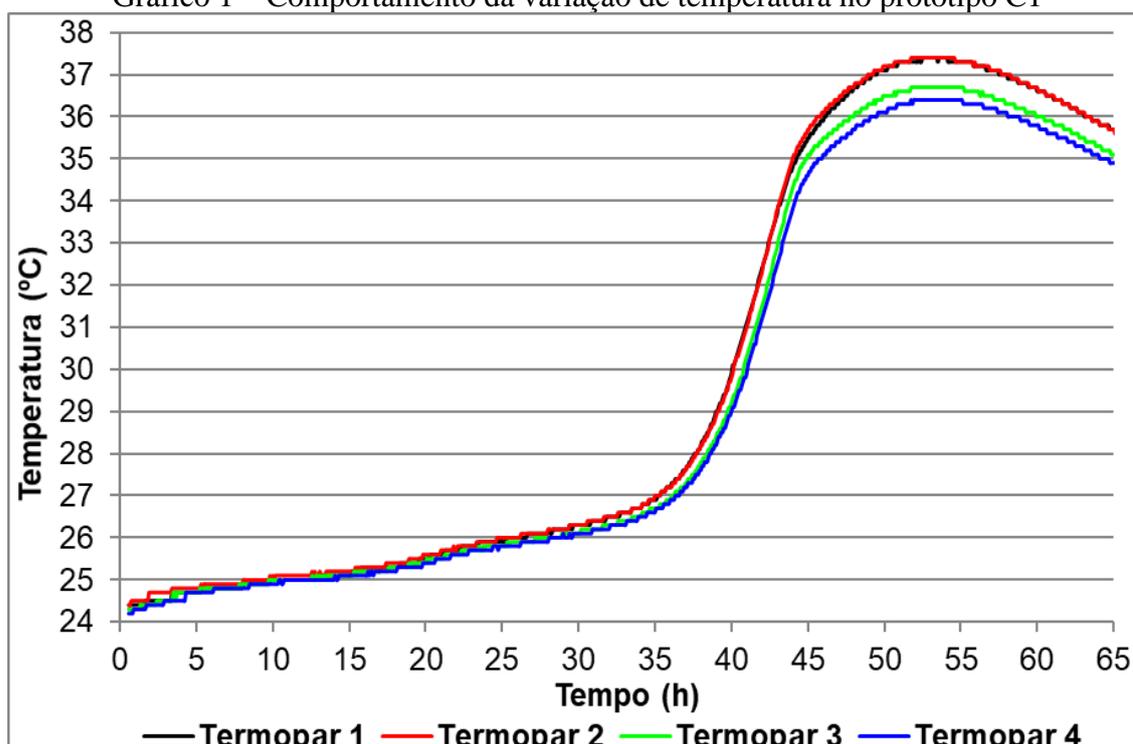
De acordo com o procedimento adotado para avaliação do calor de hidratação, alguns parâmetros foram determinados a fim de auxiliar na comprovação da segregação de aditivo no processo de vibração. As considerações presentes na fundamentação teórica descrevem que, dentre os componentes do concreto, o cimento possui maior calor de hidratação e este ensaio objetivou comprovar que, mesmo tratando-se de uma mistura homogênea, durante a execução dos protótipos laboratoriais, mais precisamente nas etapas de lançamento e vibração, os componentes do concreto com menor massa, ou seja, o cimento, tende a segregar juntamente com os compósitos líquidos (água e aditivo). Conforme apresentado no item 2.1.2, a pasta de cimento e o aditivo tendem a se deslocarem no estado fresco, quando associados ao processo de vibração.

Com o acúmulo de cimento no topo dos protótipos laboratoriais a tendência é que o tempo de pega seja mais curto se comparado com sua base, porém, como descrito acima, houve também a segregação do aditivo (com função de retardo de pega) o que amenizou as taxas diferenciais entre o tempo de pega se comparados entre topo e base. Assim sendo, os resultados pertinentes à calorimetria (semi-adiabática) serviram para confirmar a diferença da temperatura, seja pelo comportamento da curva ou pelo pico de temperatura, entre a camada 1 e a camada 4 de cada protótipo laboratorial. Contribuindo, desta forma, para verificação da influência da variação do teor de aditivo empregado. Por ser pequena, a diferença entre o a/c dos dois traços, não foi considerada uma variável nas análises aqui apresentadas.

Os protótipos laboratoriais denominados C1, C2 e C3 correspondem ao Traço 1 (com a porcentagem de aditivo recomendado pelo fornecedor) e os denominados C4, C6 e C7 correspondem ao Traço 2 (com a porcentagem de aditivo simulando a utilização em obra). O protótipo laboratorial C5 foi descartado por falhas na execução do mesmo, pois, o período de leitura do mesmo foi insuficiente para compreender o comportamento da variação de temperatura do mesmo. A numeração dos termopares está relacionada com a camada de leitura de cada um deles, sendo que a camada 1 refere-se ao topo e a camada 4 refere-se a base do protótipo de laboratório.

A seguir no Gráfico 1 encontra-se, os resultados obtidos na leitura do C1.

Gráfico 1 – Comportamento da variação de temperatura no protótipo C1

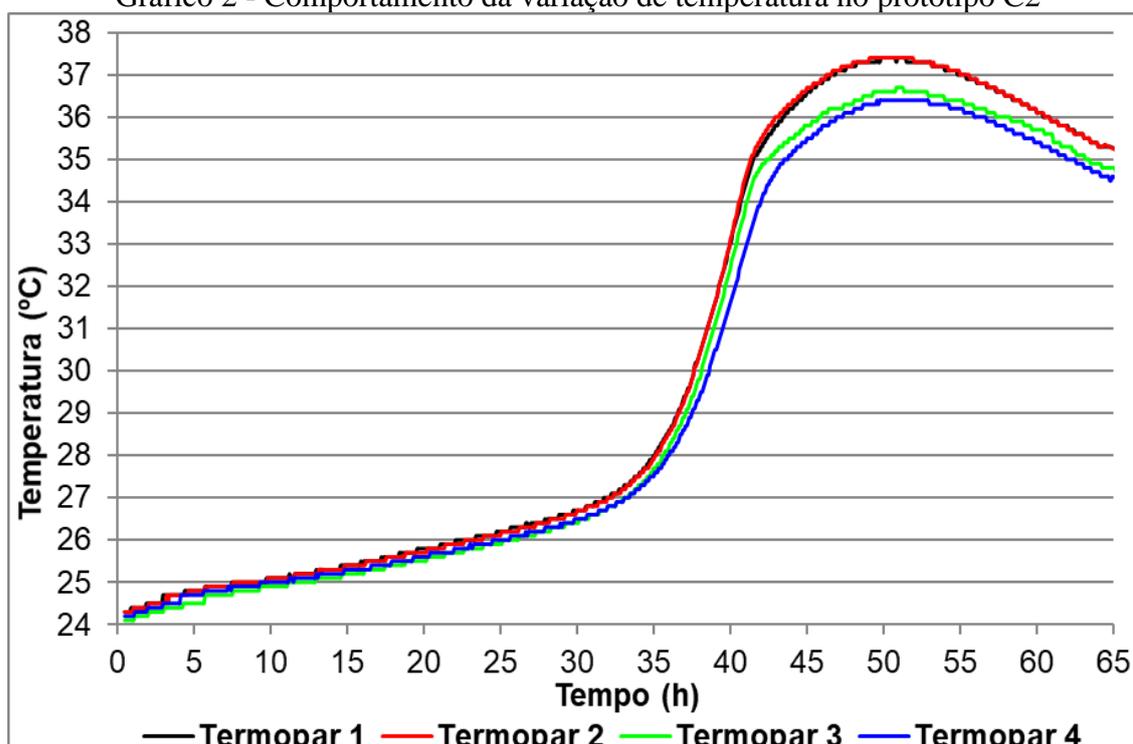


Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Pela curva do gráfico 1, percebe-se que, com o concreto ainda no estado fresco, no início da leitura todos os termopares apresentavam praticamente a mesma temperatura. Durante toda a leitura o T1 apresentou temperatura superior ao T4. O T1 iniciou com uma leitura de 24,4°C e o T4 iniciou com 24,2°C. Do início da leitura até aproximadamente as 35 horas iniciais, as temperaturas aumentaram quase que proporcionalmente e sem grandes variações a cada hora. Como na literatura não é fixado os parâmetros para determinar o período de início de pega, adotou-se como critério a evolução positiva de temperatura de 1°C por hora, sem taxas negativas de evolução de temperatura posteriores. O T1 teve o início de pega a partir das 36,32 horas e o T4 teve o início de pega a partir 37,16 horas. Mesmo com essa diferença de aproximadamente 50 minutos, os valores mantiveram-se próximos, sem consideráveis diferenças quanto ao retardo ou aceleração no tempo de pega entre as camadas. Em relação ao pico de temperatura, o T1 apresentou uma máxima de 37,4°C e começou a decair a partir do período de 52,85 horas enquanto o T4 apresentou uma máxima de 36,4°C e começou a decair a partir do período 54,52 horas.

A seguir no Gráfico 2 encontra-se, os resultados obtidos na leitura do C2.

Gráfico 2 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C2

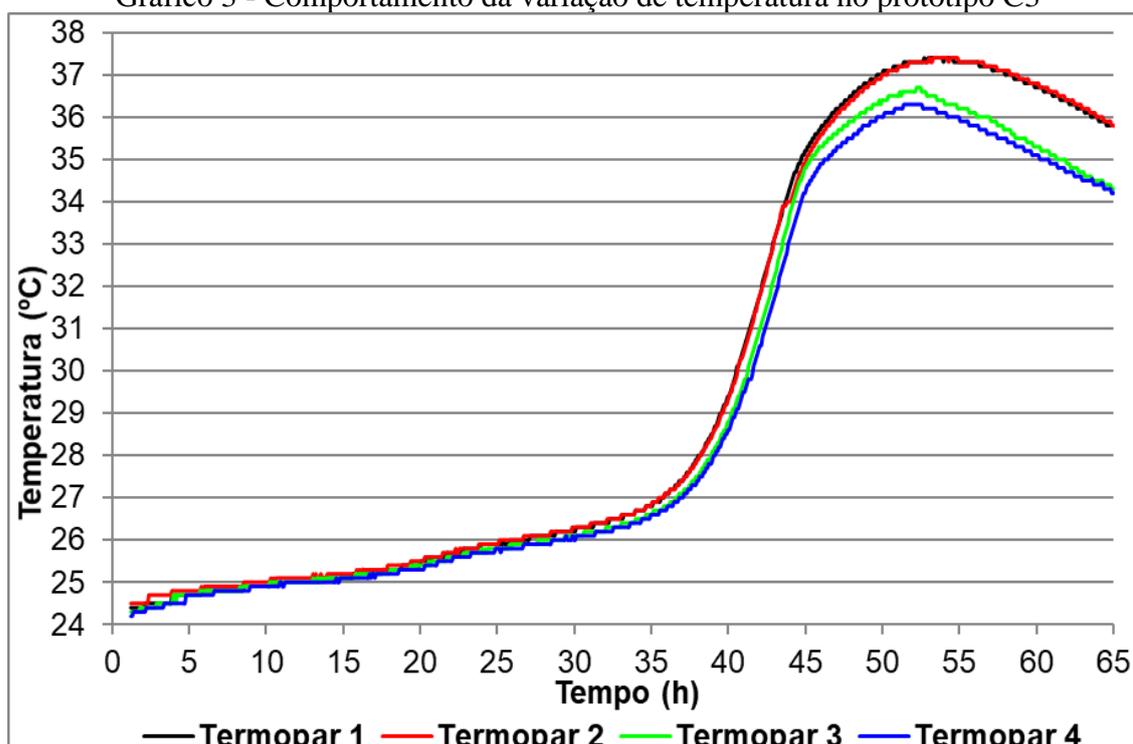


Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Pela curva de tendência do gráfico 2, percebe-se que, com o concreto ainda no estado fresco, no início da leitura todos os termopares apresentavam praticamente a mesma temperatura. Durante toda a leitura o T1 apresentou temperatura superior ao T4. O T1 iniciou com uma leitura de 24,3°C e o T4 iniciou com 24,2°C. Do início da leitura até aproximadamente as 35 horas iniciais, as temperaturas aumentaram quase que proporcionalmente e sem grandes variações a cada hora. Como na literatura não é fixado os parâmetros para determinar o período de início de pega, adotou-se como critério a evolução positiva de temperatura de 1°C por hora, sem taxas negativas de evolução de temperatura posteriores. O T1 teve o início de pega a partir das 34,06 horas e o T4 teve o início de pega a partir 34,48 horas. Os valores mantiveram-se próximos, sem consideráveis diferenças quanto ao retardo ou aceleração no tempo de pega entre as camadas. Em relação ao pico de temperatura, o T1 apresentou uma máxima de 37,4°C e começou a decair a partir do período de 50,93 horas enquanto o T4 apresentou uma máxima de 36,4°C e começou a decair a partir do período 52,43 horas.

A seguir no Gráfico 3 encontra-se, os resultados obtidos na leitura do C3.

Gráfico 3 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C3

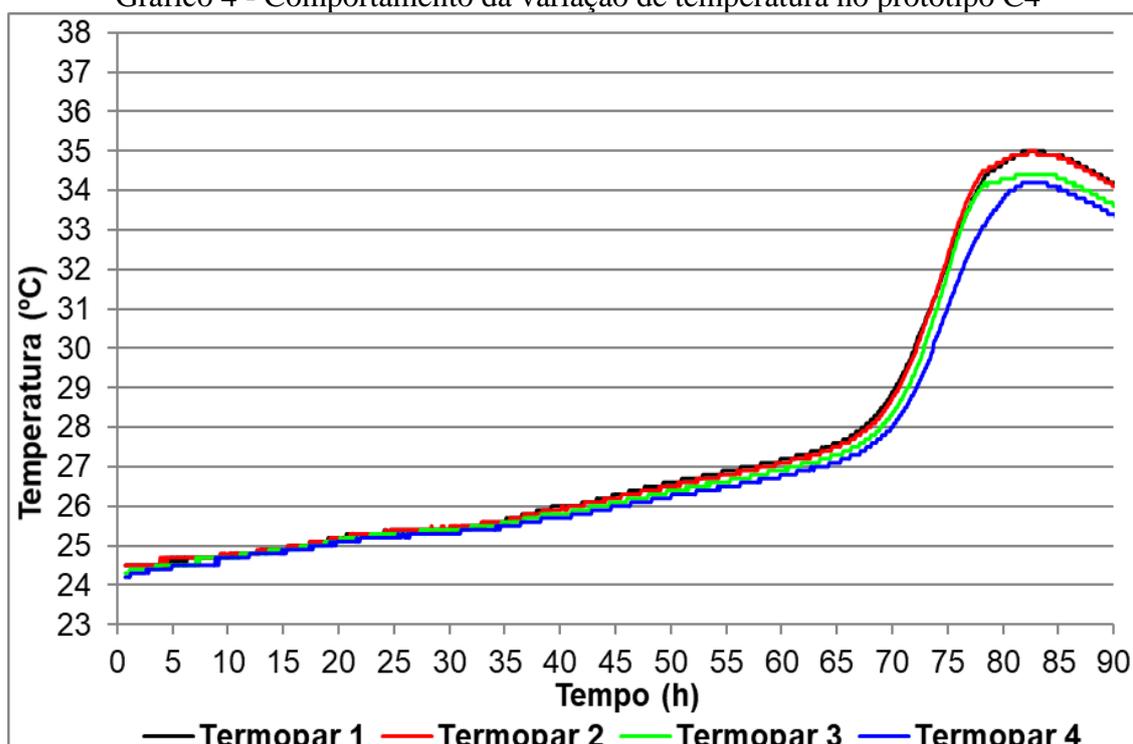


Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Pela curva de tendência do gráfico 3, percebe-se que, com o concreto ainda no estado fresco, no início da leitura todos os termopares apresentavam praticamente a mesma temperatura. Durante toda a leitura o T1 apresentou temperatura superior ao T4. O T1 iniciou com uma leitura de 24,4°C e o T4 iniciou com 24,2°C. Do início da leitura até aproximadamente as 35 horas iniciais, as temperaturas aumentaram quase que proporcionalmente e sem grandes variações a cada hora. Como na literatura não é fixado os parâmetros para determinar o período de início de pega, adotou-se como critério a evolução positiva de temperatura de 1°C por hora, sem taxas negativas de evolução de temperatura posteriores. O T1 teve o início de pega a partir das 36,80 horas e o T4 teve o início de pega a partir 37,64 horas. Mesmo com essa diferença de aproximadamente 50 minutos, os valores mantiveram-se próximos, sem consideráveis diferenças quanto ao retardo ou aceleração no tempo de pega entre as camadas. Em relação ao pico de temperatura, o T1 apresentou uma máxima de 37,4°C e começou a decair a partir do período de 53,43 horas enquanto o T4 apresentou uma máxima de 36,0°C e começou a decair a partir do período 53,80 horas.

A seguir no Gráfico 4 encontra-se, os resultados obtidos na leitura do C4.

Gráfico 4 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C4

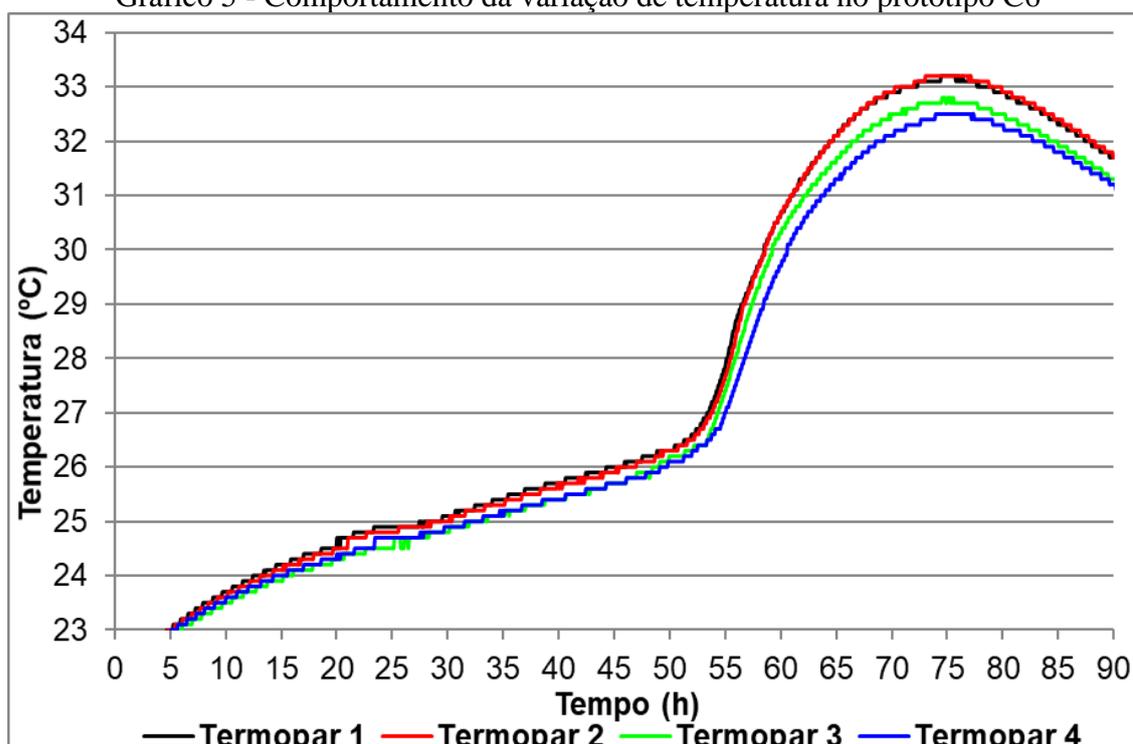


Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Pela curva de tendência do gráfico 4, percebe-se que, com o concreto ainda no estado fresco, no início da leitura todos os termopares apresentavam praticamente a mesma temperatura. Durante toda a leitura o T1 apresentou temperatura superior ao T4. O T1 iniciou com uma leitura de 24,5°C e o T4 iniciou com 24,2°C. Do início da leitura até aproximadamente as 70 horas iniciais, as temperaturas aumentaram quase que proporcionalmente e sem grandes variações a cada hora. Como na literatura não é fixado os parâmetros para determinar o período de início de pega, adotou-se como critério a evolução positiva de temperatura de 1°C por hora, sem taxas negativas de evolução de temperatura posteriores. O T1 teve o início de pega a partir das 68,97 horas e o T4 teve o início de pega a partir 70,13 horas. Mesmo com essa diferença de aproximadamente 60 minutos, os valores mantiveram-se próximos, sem consideráveis diferenças quanto ao retardo ou aceleração no tempo de pega entre as camadas. Em relação ao pico de temperatura, o T1 apresentou uma máxima de 35,0°C e começou a decair a partir do período de 83,01 horas enquanto o T4 apresentou uma máxima de 34,2°C e começou a decair a partir do período 83,35 horas.

A seguir no Gráfico 5 encontra-se, os resultados obtidos na leitura do C6.

Gráfico 5 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C6

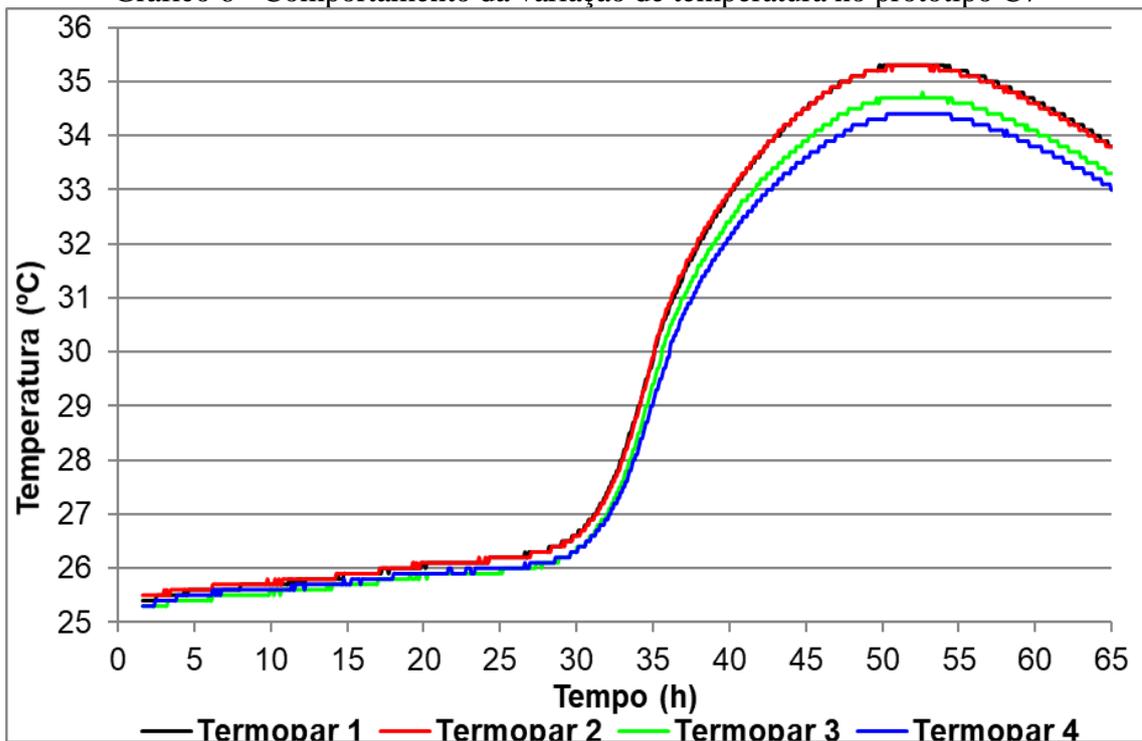


Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Pela curva de tendência do gráfico 5, percebe-se que, com o concreto ainda no estado fresco, no início da leitura todos os termopares apresentavam praticamente a mesma temperatura. Durante toda a leitura o T1 apresentou temperatura superior ao T4. O T1 iniciou com uma leitura de 22,5°C e o T4 iniciou com 22,4°C. Do início da leitura até aproximadamente as 55 horas iniciais, as temperaturas aumentaram quase que proporcionalmente e sem grandes variações a cada hora. Como na literatura não é fixado os parâmetros para determinar o período de início de pega, adotou-se como critério a evolução positiva de temperatura de 1°C por hora, sem taxas negativas de evolução de temperatura posteriores. O T1 teve o início de pega a partir das 53,95 horas e o T4 teve o início de pega a partir 55,53 horas. Mesmo com essa diferença de aproximadamente 90 minutos, os valores mantiveram-se próximos, sem consideráveis diferenças quanto ao retardo ou aceleração no tempo de pega entre as camadas. Em relação ao pico de temperatura, o T1 apresentou uma máxima de 33,20°C e começou a decair a partir do período de 75,68 horas enquanto o T4 apresentou uma máxima de 32,5°C e começou a decair a partir do período 76,68 horas.

A seguir no Gráfico 6 encontra-se, os resultados obtidos na leitura do C7.

Gráfico 6 - Comportamento da variação de temperatura no protótipo C7



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Pela curva de tendência do gráfico 6, percebe-se que, com o concreto ainda no estado fresco, no início da leitura todos os termopares apresentavam praticamente a mesma temperatura. Durante toda a leitura o T1 apresentou temperatura superior ao T4. O T1 iniciou com uma leitura de 25,4°C e o T4 iniciou com 25,3°C. Do início da leitura até aproximadamente as 30 horas iniciais, as temperaturas aumentaram quase que proporcionalmente e sem grandes variações a cada hora. Como na literatura não é fixado os parâmetros para determinar o período de início de pega, adotou-se como critério a evolução positiva de temperatura de 1°C por hora, sem taxas negativas de evolução de temperatura posteriores. O T1 teve o início de pega a partir das 31,70 horas e o T4 teve o início de pega a partir 32,29 horas. Mesmo com essa diferença de aproximadamente 30 minutos, os valores mantiveram-se próximos, sem consideráveis diferenças quanto ao retardo ou aceleração no tempo de pega entre as camadas. Em relação ao pico de temperatura, o T1 apresentou uma máxima de 35,30°C e começou a decair a partir do período de 52,68 horas enquanto o T4 apresentou uma máxima de 34,4°C e começou a decair a partir do período 52,85 horas.

A seguir, para assegurar o fácil entendimento dos resultados obtidos, apresenta-se a Tabela 19 – referente às características pertinentes ao calor de hidratação de cada protótipo laboratorial analisado.

Tabela 19 – Resumo dos resultados dos ensaios de calorimetria

<b>C1</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Início de Pega (h)</b>	<b>Temperatura Pico (°C)</b>	<b>Início Decaimento (h)</b>
<b>Camada 1</b>	24,40	36,32	37,40	52,85
<b>Camada 4</b>	24,20	37,16	36,40	54,52
<b>C2</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Início de Pega (h)</b>	<b>Temperatura Pico (°C)</b>	<b>Início Decaimento (h)</b>
<b>Camada 1</b>	24,30	34,06	37,40	50,93
<b>Camada 4</b>	24,20	34,48	36,40	52,43
<b>C3</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Início de Pega (h)</b>	<b>Temperatura Pico (°C)</b>	<b>Início Decaimento (h)</b>
<b>Camada 1</b>	24,40	36,80	37,40	53,43
<b>Camada 4</b>	24,20	37,64	36,00	53,80
<b>C4</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Início de Pega (h)</b>	<b>Temperatura Pico (°C)</b>	<b>Início Decaimento (h)</b>
<b>Camada 1</b>	24,50	68,97	35,00	83,01
<b>Camada 4</b>	24,20	70,13	34,20	83,35
<b>C6</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Início de Pega (h)</b>	<b>Temperatura Pico (°C)</b>	<b>Início Decaimento (h)</b>
<b>Camada 1</b>	22,50	53,95	33,20	75,68
<b>Camada 4</b>	22,40	55,53	32,50	76,68
<b>C7</b>	<b>Temperatura Inicial (°C)</b>	<b>Início de Pega (h)</b>	<b>Temperatura Pico (°C)</b>	<b>Início Decaimento (h)</b>
<b>Camada 1</b>	25,40	31,70	35,30	52,68
<b>Camada 4</b>	25,30	32,29	34,40	52,85

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Após análise dos gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, bem como da tabela 19 foi possível verificar que tanto os protótipos laboratoriais do Traço 1 quanto os protótipos laboratoriais do Traço 2 possuem em comum o fato da camada 1 (topo) estar a todo momento com temperatura superior à camada 4 (base). Além disso, as temperaturas de pico também foram superiores no topo em relação à base para todos os protótipos laboratoriais, independente do seu traço, indicando uma potencial segregação das partículas de cimento após a vibração do concreto.

O fato da maior porção de calor se concentrar na camada superior, confirma o que foi exposto nos itens 2.1.2 e 2.1.5.5 relacionados à segregação e calor de hidratação, respectivamente. As partículas de cimento, por possuírem menor massa, elevaram-se juntamente com os compósitos líquidos para a parte superior do elemento estrutural, que com acúmulo de cimento, dispõe de uma diferença se comparado a outras camadas, quanto as reações de hidratação dos compostos do cimento Portland que liberam calor enquanto ocorrem.

Quanto aos parâmetros que envolvem tempo, os protótipos laboratoriais do Traço 1 obtiveram uma linearidade nos resultados apresentados enquanto os protótipos laboratoriais do Traço 2 obtiveram uma dispersão dos resultados obtidos. Ainda assim, em todos os protótipos laboratoriais foi apresentado que o início de pega e de decaimento da temperatura ocorrem primeiramente na camada 1 (topo) para posteriormente ocorrer na camada 4 (base), apesar da diferença ser relativamente baixa.

Conforme exposto no item 2.1.5.5, através de análises de comportamento da curva de calorimetria, pode-se verificar aproximadamente o tempo de pega necessário para o endurecimento do concreto.

#### 4.3 RECONSTITUIÇÃO DO TRAÇO DE CONCRETO

De acordo com o procedimento adotado para avaliação do traço de concreto, alguns parâmetros foram determinados a fim de auxiliar na comprovação da segregação de aditivo no processo de vibração. Levando em consideração a fundamentação teórica aplicada neste trabalho, obteve-se como resultado os itens presentes nas tabelas 20, 21, 22 e 23, apresentadas abaixo.

Conforme exposto pela literatura, durante o processo de vibração do elemento estrutural de concreto, neste caso, do tipo pilar, os constituintes de menor massa como água, aditivo e cimento tendem a segregar. Assim sendo, é evidente que devido a diferença na relação a/c, em conjunto com a diferença de temperatura, conseqüentemente, haverá diferença de retração entre as partes superiores e inferiores dos protótipos analisados.

Para obter as informações apresentadas nas tabelas subsequentes, foram realizados os ensaios em 03 protótipos laboratoriais para cada traço, e o resultado foi obtido através da média aritmética entre os valores encontrados.

A seguir as tabelas 20 e 21 apresentam os resultados obtidos para o Traço 1, com 0,8% de aditivo conforme recomendação do fornecedor.

Tabela 20 – Distribuição dos componentes presentes no traço 1

<b>Pilar Traço 1</b>	<b>Cimento Portland</b>	<b>Areia de Britagem</b>	<b>Areia Fina</b>	<b>Brita 0</b>	<b>Brita 1</b>	<b>Água</b>	<b>Aditivo</b>
<b>Camada 1</b>	730,96	237,58	290,37	266,05	620,78	164,28	5,85
<b>Camada 2</b>	519,58	361,63	442,00	412,36	962,17	217,53	4,16
<b>Camada 3</b>	352,61	425,49	520,04	590,54	1377,93	222,35	2,82
<b>Camada 4</b>	424,05	209,73	256,34	216,67	505,57	125,71	3,39

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Tabela 21 – Propriedades tecnológicas referentes ao traço 1

Pilar Traço 1	a/c mássico	Alfa mássico (%)	Alfa volumétrico (%)	m	H (%)	Teor de pasta volumétrico (%)	Slump desejado (mm)
Camada 1	0,22	59%	58%	1,94	7,7%	45,1%	140±20
Camada 2	0,42	49%	49%	4,19	8,1%	33,5%	140±20
Camada 3	0,63	40%	40%	8,26	6,8%	24,5%	140±20
Camada 4	0,30	55%	55%	2,80	7,8%	38,8%	140±20

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Os dados apresentados nas tabelas 20 e 21 são concomitantes com os resultados apresentados no item 4.2, uma vez que os resultados expostos acima afirmam, principalmente, a diferença ente as camadas 1 e 4 do traço do pilar. Como já era previsto, devido a segregação, a camada 1 apresentou uma considerável quantidade média de cimento e aditivo maior que na camada 4. Em contrapartida, os demais componentes do concreto (agregados), por possuírem maior massa, consertaram-se, em maior quantidade, nas partes centrais e inferiores dos protótipos laboratoriais, compreendidos entre as camadas 2 e camada 4.

A baixa relação a/c na camada 1 (topo) impulsiona o aparecimento de retração hidráulica, principalmente se comparada às demais camadas. Isto faz com que as manifestações de fissuras sejam mais incidentes na parte superior dos protótipos laboratoriais. Conforme apresentado na figura 27 e 28. Através do alfa volumétrico, comprovou-se que a quantidade de argamassa (água, cimento e agregado miúdo) e o teor de pasta volumétrico (água e cimento e aditivo) tiveram maior incidência na camada 1, enquanto que a relação de agregados (gráudo e miúdo) ficou, em sua maioria compreendido nas partes centrais e inferiores dos protótipos laboratoriais, ou seja, entre a camadas 2 e a camada 4.

Figura 27 – Protótipos apresentando retração traço 1



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 28 – Protótipos individuais apresentando retração traço 1



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

A seguir as tabelas 22 e 23 apresentam os resultados obtidos para o Traço 2, com 1,2% de aditivo, conforme situação empregada nas concretagens dos pilares do edifício mencionado no capítulo 3.

Tabela 22 – Distribuição dos componentes presentes no traço 2

Pilar Traço 2	Cimento Portland	Areia de Britagem	Areia Fina	Brita 0	Brita 1	Água	Aditivo
Camada 1	734,02	255,81	312,66	259,80	606,21	141,52	8,81
Camada 2	689,56	283,30	346,26	253,09	590,54	147,27	8,27
Camada 3	274,46	366,18	447,56	323,37	754,53	143,93	3,29
Camada 4	421,45	352,47	430,80	283,04	660,42	161,85	5,06

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Tabela 23 – Propriedades tecnológicas referentes ao traço 2

Pilar Traço 2	a/c mássico	Alfa mássico (%)	Alfa volumétrico (%)	m	H (%)	Teor de pasta volumétrico (%)	Slump desejado (mm)
Camada 1	0,19	60%	60%	1,95	6,5%	43,4%	140±20
Camada 2	0,21	61%	61%	2,14	6,8%	42,1%	140±20
Camada 3	0,52	50%	50%	6,89	6,6%	25,8%	140±20
Camada 4	0,38	56%	56%	4,10	7,5%	32,9%	140±20

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Os resultados apresentados pelas tabelas 22 e 23 contribuem para a comprovação da diferença entre as camadas de base e topo dos protótipos laboratoriais identificada no item 4.2. Como já era previsto, devido a segregação das partículas de menor massa para o topo dos protótipos laboratoriais por conta do lançamento e vibração do concreto, a camada 1 apresentou uma considerável quantidade média de cimento e aditivo a mais que na camada 4. Em contrapartida, os demais componentes do concreto (agregados), por possuírem maior massa, apresentaram maior concentração nas partes centrais e inferiores dos protótipos laboratoriais, compreendidos entre as camadas 2 e camada 4.

A baixa relação a/c na camada 1 (topo) impulsiona o aparecimento de retração hidráulica, principalmente se comparada às demais camadas. Isto faz com que o surgimento de manifestações patológicas do tipo fissuras seja mais incidente na parte superior dos protótipos laboratoriais. Conforme apresentado na figura 29 e 30. Através do alfa volumétrico, comprovou-se que a quantidade de argamassa e o teor de pasta volumétrico tiveram maior incidência na camada 1 e na camada 2, enquanto que a relação de agregados ficou em sua maioria compreendido nas camadas inferiores dos protótipos laboratoriais, ou seja, entre a camada 3 e a camada 4.

Figura 29 – Protótipos apresentando retração traço 2



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 30 – Protótipos individuais apresentando retração traço 2



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

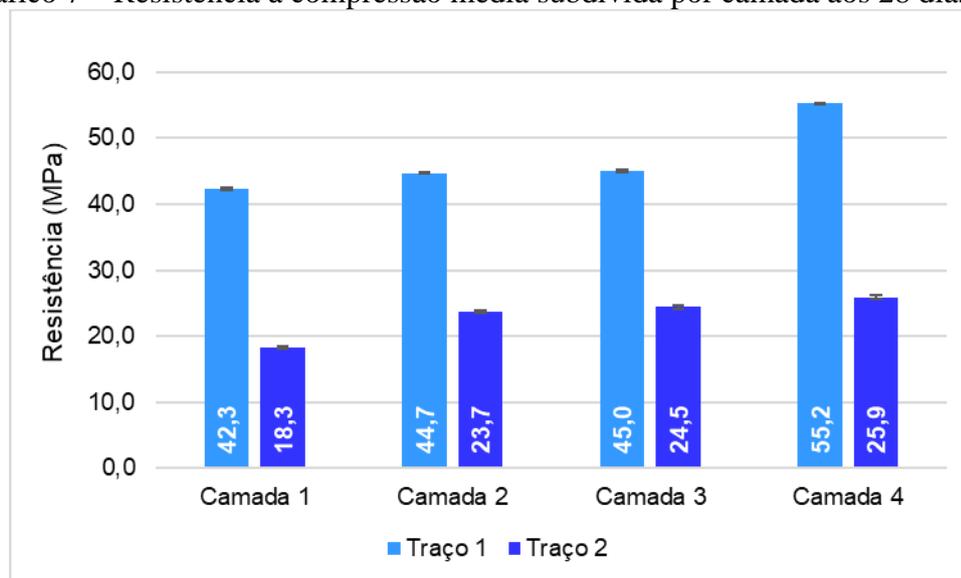
#### 4.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

De acordo com os procedimentos adotados para avaliação entre as diferenças dos traços de concreto, alguns parâmetros foram determinados a fim comprovar se a variação na quantidade de aditivo afeta, consideravelmente, a resistência dos elementos estruturais quando submetidas à resistência à compressão.

Para tanto, foram realizados ensaios em corpos de prova extraídos como testemunhos dos protótipos laboratoriais (tanto do traço 1, quanto do traço 2), nas camadas 1, 2, 3 e 4, para comprovar se haveria alteração na resistência, principalmente, entre o topo e a base dos elementos estruturais analisados.

A seguir no Gráfico 7 encontra-se os resultados obtidos quanto ao ensaio de resistência à compressão.

Gráfico 7 – Resistência à compressão média subdivida por camada aos 28 dias



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Conforme exposto acima, é possível identificar que, para ambos os traços, a média entre a resistência à compressão é menor na camada 1 (topo) do que na camada 4 (base) e este fato se explica a medida que, corroborando com que foi exposto no item 4.3, a relação a/c é menor na camada superior em relação a camada inferior.

Em concretos de densidade normal de baixa e média resistência, a porosidade da zona de transição na interface e da matriz é determinante na resistência, o que mantém a relação direta entre a/c e a resistência do concreto, conforme explícito no item 2.4.1.2.

Estes casos indicam que a baixa relação a/c pode favorecer o desenvolvimento da microfissura no concreto e conseqüentemente afetar a resistência à compressão do material. Este fato se explica, devido às funções da relação a/c no concreto que no estado fresco, se resume a promover a aglutinação dos agregados, preenchimento de vazios e promover certa fluidez na mistura, enquanto que no estado endurecido auxilia, principalmente, na resistência mecânica.

A baixa relação a/c nas camadas superiores ocorre devido a, conforme explícito no item 2.1.2, segregação durante a vibração do material tende a fazer com que a quantidade

de aditivo, água e cimento sejam maiores nas camadas superiores em detrimento as demais camadas.

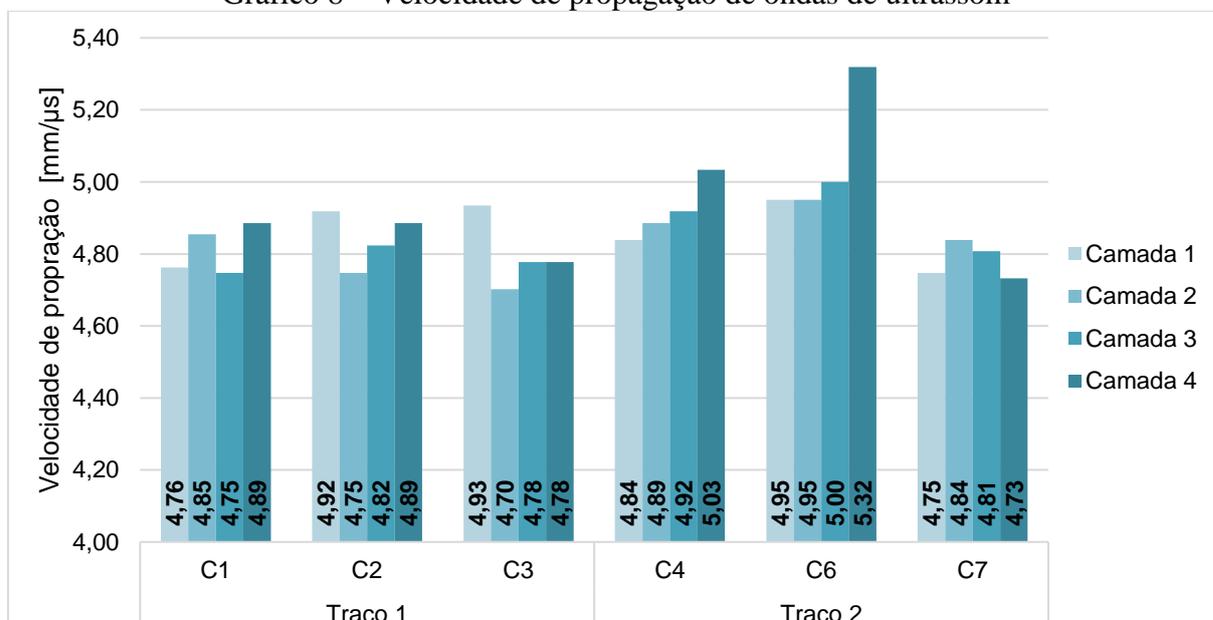
Embora os valores sejam pouco expressivos, o traço 1 possui relação a/c média de 0,39 enquanto que o traço 2 possui relação a/c média de 0,36, corroborando com o que está exposto acima que a relação a/c está diretamente proporcional à resistência à compressão quando utilizado concretos de baixa/média resistência. Assim sendo, justifica-se o fato dos testemunhos ensaiados com maior quantidade de aditivo, ou seja, do traço 2 possuírem menor resistência mecânica se comparados com os testemunhos do traço 1.

#### 4.5 ENSAIO DE ULTRASSOM

De acordo com o procedimento adotado para avaliação da propagação da velocidade de ondas ultrassônicas, alguns parâmetros foram determinados a fim de auxiliar na comprovação da eficácia do processo de lançamento e vibração do concreto. Levando em consideração a fundamentação teórica aplicada neste trabalho, obteve-se como resultado nos gráficos abaixo.

A seguir no gráfico 8 encontra-se, os resultados obtidos em todos os protótipos laboratoriais.

Gráfico 8 – Velocidade de propagação de ondas de ultrassom



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

O ensaio dinâmico não destrutivo, considerando a propagação da velocidade tem caráter complementar aos resultados dos demais ensaios realizados e permitem uma avaliação quanto a trabalhabilidade do concreto, especialmente no que diz respeito no interior da massa.

De acordo com artigo sobre o estudo comparativo das técnicas não destrutivas de ultrassom e esclerometria na avaliação do desempenho mecânico de estruturas em concreto armado (2013) a vibração é considerada excelente quando apresenta uma velocidade de propagação acima de 4500[m/s], ótima quando apresenta uma velocidade de propagação de 3500 a 4500 [m/s], boa quando apresenta uma velocidade de propagação de 3000 a 3500 [m/s], regular quando apresenta uma velocidade de propagação de 2000 a 3000 [m/s] e ruim quando apresenta uma velocidade de propagação inferior a 2000 [m/s].

Assim sendo, temos como resultado que tanto o Traço 1 (com a porcentagem de aditivo recomendado pelo fornecedor) quanto o Traço 2 (com a porcentagem de aditivo simulando a utilização em obra) obtiveram resultados satisfatórios e apresentaram condições de vibração muito boas em todas as camadas, pois, todas as velocidades de propagação foram superiores a 4,2 [mm/μs].

#### 4.6 SÍNTESE DE RESULTADOS

Através dos resultados apresentados pode-se observar que o objeto de estudo, apesar de potencializar o aparecimento de retrações não se identifica, única e exclusivamente, como responsável pelas manifestações patológicas em elementos estruturais de concreto. Analisando a variação de aditivo empregada, conforme exposto no item 3.4, facilitou identificar o comportamento intrínseco do concreto e quais possíveis causas do surgimento de retrações.

Atribuem-se, principalmente, ao processo de vibração do concreto o surgimento dessas manifestações patológicas. Isso se confirma ao passo que, mesmo utilizando a quantidade de aditivo indicada pelo fornecedor (traço 1), a diferença de comportamento entre o topo e a base se fez presente em todos os ensaios realizados, para ambos os traços. É fato que, com o acréscimo de aditivo, outras propriedades do concreto sofrem alteração, tais como: relação a/c, consumo de água, diferença de temperatura interna, fatores que potencializam o surgimento das manifestações patológicas de retração.

Os dados obtidos nos resultados acima estão intimamente relacionados, pois, apresentam o mesmo resultado individual para o comportamento do concreto de maneira geral. A diferença entre as características entre o topo e a base ocorrem pelo processo de vibração. O principal indicador quanto à realização da vibração em excesso foi o ensaio de ultrassom, que identificou valores excedentes da recomendação normal na análise de dados,

que, em termos práticos, significa que foi vibrado além do necessário, contribuindo para ascensão dos componentes de menor massa.

Com a desagregação imoderada dos componentes, devido a vibração em excesso mencionada acima, origina-se, portanto, um comportamento heterogêneo na massa de concreto. Por isso o estudo entre a comparação por camadas se fez necessário, visando confirmar se realmente haveria diferença entre elas. Nas condições de obra, devido a geometria dos pilares serem superiores em relação aos protótipos, essa diferença se torna mais evidente, porém, assumindo caráter proporcional com que se realiza *in loco*, os resultados laboratoriais demonstrados apresentaram uma distinção considerável na porção de cimento entre a camada 1 (topo) e a camada 4 (base).

Quimicamente, por conter maior porção de cimento na parte superior do elemento estrutural, o consumo de água para estabilizar as reações químicas também será maior, contribuindo diretamente para a ocorrência de retração hidráulica (ou por secagem) que são variações volumétricas que ocorrem por perda de massa, isto é, por evaporação da água excedente durante processo de hidratação do cimento. A condição entre a relação a/c também é de extrema importância, pois, está ligada diretamente com a porosidade, viscosidade, e, principalmente à resistência do concreto endurecido quando submetido à esforços de compressão. Além disso, com o acúmulo de calor de hidratação do cimento Portland na parte superior, sucede uma ligeira diferença entre a temperatura, se comparado com a parte inferior, justamente devido ao acúmulo de partículas de cimento Portland – devido a heterogeneidade resultante do excesso de vibração, contribuindo para o surgimento de retrações térmicas nos elementos estruturais de concreto.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, o objetivo principal foi investigar as possíveis causas das retrações acentuadas manifestadas em pilares de concreto armado nas primeiras idades, originadas no processo de execução da obra e caracterizadas pela heterogeneidade no aspecto visual entre as partes inferiores e superiores destes elementos estruturais.

Embasando-se na revisão bibliográfica que compõe o capítulo 2 deste trabalho, obtiveram-se os subsídios iniciais para verificação de como se daria a continuidade da pesquisa. Portanto, através de ensaios laboratoriais, tornou-se possível analisar, tecnicamente, as propriedades que os diferentes traços de concreto apresentaram e, além disso, se o fator relacionado à dosagem teria influência considerável nos resultados apresentados.

Esta pesquisa, portanto, visou entender o comportamento das retrações nos pilares, considerando a comparação entre diferentes teores de aditivos polifuncionais, empregando-se os procedimentos destacados por Prudêncio Jr. e Medeiros (2015) como sendo os utilizados naquela concretagem do referido edifício.

Em relação aos ensaios propriamente ditos, obteve-se como resultado os seguintes parâmetros:

Quanto ao ensaio de abatimento (slump test), padronizou-se a sua consistência em  $140 \pm 20$  mm para que se garantisse uma trabalhabilidade semelhante em ambos os traços. Obviamente que o traço 2 por haver maior quantidade de aditivo plastificante (NT 17), como teor de aditivo é uma das variáveis em questão, esta correção no abatimento foi feita pela diminuição da quantidade de água.

Quanto ao ensaio de calorimetria semi-adiabática, tanto os protótipos laboratoriais do Traço 1 quanto os protótipos laboratoriais do Traço 2 possuem em comum o fato da camada 1 estar, a todo momento, com temperatura superior à camada 4. Além disso, o início de pega ocorreu primeiramente na camada superior e a temperatura de pico foi mais acentuada se comparada à camada inferior.

Quanto ao ensaio de reconstituição do traço, tanto para os protótipos laboratoriais do Traço 1 quanto os protótipos laboratoriais do Traço 2, foram realizados para comprovar a heterogeneidade do concreto em diferentes camadas. Através desse ensaio foi possível identificar a dispersão entre a porção de seus constituintes, bem como destacar as consequências que isso poderia ter quanto às propriedades tecnológicas do concreto. Podendo-se ressaltar a relação a/c.

Quanto às propriedades mecânicas, precisamente a resistência à compressão, foi possível identificar que, para ambos os traços, a média entre a resistência à compressão é menor na camada 1 (topo) do que na camada 4 (base) e tal fato se explica a medida que, corroborando com que foi exposto no item 4.3, a relação a/c é menor na camada superior em relação a camada inferior. Fato demonstrado pela heterogeneidade entre as camadas.

Quanto ao ensaio de ultrassom, ficou comprovado que houve a vibração de maneira demasiada devidos aos maus procedimentos construtivos e que associados ao ensaio de reconstituição de traço observou-se a segregação dos componentes de menor massa.

Atribuem-se, principalmente, ao processo de vibração do concreto o surgimento dessas manifestações patológicas. Isso se confirma ao passo que, mesmo utilizando a quantidade de aditivo indicada pelo fornecedor (traço 1), a diferença de comportamento entre o topo e a base se fez presente em todos os ensaios realizados, para ambos os traços.

As operações de lançamento com energia demasiada ou excesso de vibração faz com que os componentes de menor massa do concreto, ou seja, aditivo, água e cimento segreguem tornando o concreto com características heterogêneas e de baixa coesão. A relação entre a segregação, afeta diretamente dois tipos de retrações que podem ser manifestadas no concreto, sendo elas: hidráulica e térmica.

A retração hidráulica ocorre sempre que tais elementos são expostos à umidade abaixo da condição de saturação. Suas principais causas são a relação água/cimento, o consumo de cimento, a granulometria de seus componentes e a temperatura ambiente.

As principais causas da retração térmica são as condições climáticas, a umidade do ar e a ação do vento. Além disso, o principal fator é o calor de hidratação gerado pelo cimento. Corroborando com o que foi apresentado no item 2.1.5.5, com a segregação dos materiais mais leves, as estruturas do tipo pilar tendem a apresentar maior concentração de cimento na parte superior dos elementos estruturais, logo, potencializam a manifestação de retrações térmicas se comparadas com as partes inferiores.

Em resumo, o modo de adição dos aditivos, do tipo plastificante, afeta principalmente as propriedades do concreto no estado fresco, tais como manutenção do abatimento e a incorporação de ar, por agirem como redutores de água.

Com a desagregação imoderada dos componentes, devido a vibração em excesso mencionada acima, origina-se, portanto, um comportamento heterogêneo na massa de concreto. Por isso o estudo entre a comparação por camadas se fez necessário, visando confirmar se realmente haveria diferença entre elas. A condição entre a relação a/c também é de extrema importância, pois, está ligada diretamente com a porosidade, viscosidade, e,

principalmente à resistência do concreto endurecido quando submetido à esforços de compressão. Além disso, com o acúmulo de cimento na parte superior, sucede uma ligeira diferença entre a temperatura, se comparado com a parte inferior, justamente devido ao acúmulo de calor de hidratação do cimento Portland, liberando calor em excesso, contribuindo para o surgimento de retrações térmicas nos elementos estruturais de concreto.

Para que se evite o surgimento de manifestações patológicas do tipo fissuras, causados por retrações, cuidados com a dosagem do traço, granulometria dos agregados, seleção dos tipos do aditivo empregado, processo de vibração do concreto e cura empregada no material são indispensáveis para garantir seu funcionamento ideal.

Pode-se afirmar que os objetivos específicos, que compõe o objetivo geral dessa pesquisa foram alcançados, uma vez que: identificou-se os tipos de retração potencialmente manifestadas em pilares, verificou-se os tipos de retrações que podem ser originados a partir da má execução do pilar, realizou-se ensaios em elementos estruturais protótipos de laboratório a fim de simular as condições ocorridas *in loco*, analisando nos mesmos os tempos de início de pega, segregação em função da altura do pilar protótipo, propriedades mecânicas no estado endurecido, com o intuito de possibilitar a identificação das potenciais causas das fissurações por retração, verificou-se a relação que as proporções de aditivos empregadas tiveram com os resultados laboratoriais através de comparações e, por fim, foram descritas recomendações a serem adotadas para conter a heterogeneidade da parte superior e inferior do concreto, prevenindo o surgimento de fissuras causadas por retrações acentuadas nas primeiras idades.

Finalmente, conclui-se que o objeto de estudo, *a proporção do aditivo*, apesar de potencializar o aparecimento de retrações não se identifica, única e exclusivamente, como responsável das manifestações patológicas em elementos estruturais de concreto. De acordo com os resultados apresentados, atribui-se principalmente à execução da vibração excessiva o surgimento dessas manifestações. O concreto deve ser lançado em pequenas quantidades e não continuamente para que a vibração das camadas formadas permita que o ar liberado chegue rapidamente à superfície sem que ocorra uma segregação dos demais componentes (principalmente, aditivo e cimento). Outro ponto a se destacar é a base química e funcional do aditivo empregado, pois, teores elevados de aditivos do tipo lignossulfonatos, principalmente quando o cimento empregado é um CP IV (Cimento Portland Pozolânico) causam retardo excessivo na pega devido à polaridade hidrofílica constante neste tipo de aditivo e como a vibração do concreto faz com que as partículas mais leves segregarem o tempo de pega na parte superior é menor que na parte inferior.

## REFERÊNCIAS

- AÍTCIN, P. C.. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: Pini, 2000. 667 p. Tradução de: Geraldo G. Serra.
- AMORIM, A. A.. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado Aparente**. 2010. 74 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- ANDRADE, J. J. O.. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas**. 1997. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- ARANHA, P. M. S.. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado na região Amazonas**. 1994. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **BT-106**: Guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB-18**: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados. Curitiba: ABNT, 2011. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 29 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 59 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 11 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto — Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 225 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7216**: Amostragem de agregados – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680**: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 86 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9605**: Concreto - Reconstituição do traço de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8 p.

BARDELLA, P. S.. **Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland de Alto Forno com Utilização de Sílica Ativa**. In 1º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA PROJETO PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO. 2005, São Carlos, Anais do 1º Encontro nacional de pesquisa projeto produção em concreto pré-moldado. São Carlos: 2005. p. 1-12.

BASTOS, P. S. S.. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2006. 98 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

BATISTON, E. R.. **Estudo exploratório dos efeitos de nanotubos de carbono em matrizes de cimento Portland**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

BRANCO, C. P.; PIERETTI, R. A.. **Avaliação da resistência do concreto curado entre - 5°C e 0°C**. 2012. 41 f. (Monografia) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRASIL. **Código de Proteção e Defesa do Consumidor (1990)**. Código de proteção e defesa do consumidor e legislação correlata. – 5. ed. – Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2012. 106 p.

CARVALHO, Emanuella et al. Utilização de Ensaios Não Destrutivos, Ultrassom e Pacômetro, como Métodos de Verificação da Resistê. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Aracaju, v. 2, n. 3, p.28-37. 2017.

CHAGAS, R. M. P.. **Estudo do concreto laterítico dosado com aditivo plastificante à base de Lignosulfonato**. 2011. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

CINCOTTO, M. A.. **Reações de Hidratação e Pozolânicas**. In: ISAIA, G. C. ed. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, v. 1, 2011. Cap. 11, p. 381-414

DELLINGHAUSEN, L. M.. **Retração total e penetração de cloretos em concretos com cimento Portland branco e escória de alto forno**. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DINIZ, J. Z. F.; FERNANDES, J. F.; KUPERMAN, S. C.. **Retração e Fluência**. In: ISAIA, G. C. ed. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, v. 1, 2011. Cap. 19, p. 673-703

FERNANDES, R. M.. **A influência das ações repetidas na aderência aço-concreto**. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

GIL, A. C.. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 200 p.

GRAÇA, N.G.; BITTENCOURT, R. M.; SANTOS, S. B. dos.. **Efeitos da temperatura sobre o concreto**. In: **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, v. 2, 2005. Cap. 23, p. 687-711

HARTMAN, C. T.. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ITAMBÉ, Cimento. **Resumo das especificações técnicas da ABNT**. 2017. Disponível em: <[http://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/themes/itambe-2016/\\_assets/pdf/especificacoes\\_abnt.pdf](http://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/themes/itambe-2016/_assets/pdf/especificacoes_abnt.pdf)>. Acesso em: 2 nov. 2017.

KUMM, T. C.. **Influência do emprego de polímeros superabsorventes nas propriedades materiais à base de cimento Portland**. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LAPA, J. S.. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto armado**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: Nicole Pagan Hasparyk, 2014. 751 p.

NEVILLE, A. M.. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.

NEVILLE, A. M.. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912. p.

ONGHERO, L.. **Combate à retração do concreto com promoção de cura interna**. 2013. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ONGHERO, L.. **Combate à retração e fissuração em concretos de alto desempenho reforçados com microfibras de vidro**. 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PETRUCCI, E. G. R.. **Concreto de Cimento Portland**. Porto Alegre: Globo, 1982.

PINHEIRO, L. M.. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. 2007. 380 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

POWER, T. C.. **The properties of fresh concrete**. New York: John Willey & Sons Inc, 1968. 686 p.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R.; MEDEIROS, R.. **Investigação das possíveis causas das patologias ocorridas em pilares do edifício residencial Fontaine Bleau**. Tubarão, 2015. 12 p.

RECENA, F. P.. **Retração do concreto**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2014. 151 p.

RIBEIRO, R. M.. **Concreto aparente: Uma contribuição para a construção sustentável**. 2010. 112 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SALES, A. T. C.. **Retração, fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu**. 2006. 273 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SALUM, P. L.. **Efeito da elevação de temperatura sobre a resistência à compressão de concretos massa com diferentes teores de cinza volante**. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANTOS, D. B. R dos. **Modelagem numérica de lajes mistas de aço e concreto em situação de incêndio**. 2014. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SANTOS, I. M. R. dos. **Estudo de dosagens de concreto para aumento da resistência à tração na flexão**. 2014. 75 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SANTOS, P. R. dos. **Análise e cálculo de elementos estruturais em concreto armado de um edifício residencial**. 2014. 184 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SANTOS, S. B. dos. **Análise da fluência do concreto massa nas primeiras idades de carregamento: influência de aditivos plastificantes e adições minerais**. 2011. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SENISSE, J. A. L.. **Influência do consumo de água, do teor de adição microfibras de polipropileno e do tipo de cimento no fenômeno da retração por secagem em concretos**

**empregados em pisos.** 2010. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TAVARES, A. J.. **Aderência Aço-concreto: Análise numérica dos ensaios pull-out e apulot.** 2012. 143 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2012.

TAVARES, L. R. C.. **Avaliação da retração autógena em concretos de alto desempenho.** 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

**ANEXOS**

## ANEXO A – Acervo fotográfico pilares apresentando manifestações patológicas

Nas figuras que seguem, demonstra-se claramente o surgimento de retrações na parte superior dos pilares, fato que norteou a realização desta pesquisa.

Figura 31 – Imagem ilustrativa de pilares com retrações nas camadas superiores I



Fonte: Prudêncio Jr.; Medeiros (2015, p. 2).

Figura 32 – Imagem ilustrativa de pilares com retrações nas camadas superiores II



Fonte: Prudêncio Jr.; Medeiros (2015, p. 5).

Figura 33 – Imagem ilustrativa de pilares com retrações nas camadas superiores III



Fonte: Prudêncio Jr.; Medeiros (2015, p. 9).