

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANDRÉ LUIZ ANDREONI PHILIPPSEN
TOBIAS JUN SHIMOSAKA**

**ESTUDO DO EFEITO DA CURA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA
INICIAL DO CONCRETO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA
DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

**ANDRÉ LUIZ ANDREONI PHILIPPSEN
TOBIAS JUN SHIMOSAKA**

**ESTUDO DO EFEITO DA CURA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA
INICIAL DO CONCRETO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE
PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. José Ilo Pereira Filho.
Co-Orientadora: Prof.^aDr^a Caroline Angulski da Luz.

**PATO BRANCO
2014**



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DO EFEITO DA CURA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA INICIAL DO CONCRETO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

**ANDRE LUIZ ANDREONI PHILIPPSEN
E
TOBIAS JUN SHIMOSAKA**

Aos 10 dias do mês de fevereiro do ano de 2014, às 13H30min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 04-TCC/2014.

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC / UTFPR-PB)

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. CAROLINE ANGUSLKI DA LUZ (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof^ª. Dr^ª. PAÔLA REGINA DALCANAL (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC / UTFPR-PB)

A nossas famílias e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por seu infinito amor para com seus filhos.
Aos nossos pais, por toda educação, carinho, e incentivo durante toda nossa vida.

Aos nossos irmãos pelo incentivo e companheirismo.

A todos nossos amigos e namorada que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho, pela sincera amizade e pelo companheirismo.

Ao professor Me. Cleovir José Milani pelo fornecimento de materiais, e pelo seu constante incentivo, bem como todo seu conhecimento transmitido.

Aos nossos orientadores professor Dr. José Ilo Pereira Filho e professora Dr^a. Caroline Angulski da Luz, pela dedicação, atenção e conhecimentos transmitidos para que este trabalho fosse realizado.

Ao professor Dr. Mário Arlindo Paz Irragaray e a professora Dr^a. Paôla Regina Dalcanal por terem feito parte da banca avaliadora do trabalho.

A todos os professores do curso de engenharia Civil da UTFPR que lecionaram durante os cinco anos de graduação, nossos mais sinceros agradecimentos.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

PHILIPPSEN, André Luiz Andreoni, e SHIMOSAKA, Tobias Jun. **Estudo do efeito da cura térmica na resistência inicial do concreto para aplicação na indústria de pré-moldados de concreto**. 2014. 100. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

A construção civil quando comparada aos demais setores, pode ser considerada atrasada, levando em conta o grande desperdício de material, falta de produção seriada e uma mão-de-obra com baixa escolaridade. A pré-fabricação de peças estruturais de concreto é o que aproxima a construção civil de uma possível industrialização. Essa pré-fabricação porém, pode ser limitada quando analisado o uso das formas para o concreto. O alto custo de uma forma bem como a limitação da quantidade de vezes que a mesma é utilizada diariamente, dificultam, ou ainda encarecem essa produção. O fato do concreto necessitar uma resistência adequada para que possa ser içado é o fator que limita a desforma da peça, tendo em vista que essa resistência se faz necessária em poucas horas. Para tal situação, a cura térmica se apresenta como uma alternativa para essa dificuldade de produção seriada. Dentro deste contexto, o presente trabalho apresenta o estudo do efeito da cura térmica na resistência inicial do concreto para aplicação na indústria de pré-moldado. O objetivo é conseguir em oito horas 15 MPa de resistência à compressão, valor que é referenciado por bibliografia, para que assim, a produção de uma fábrica de pré-moldado possa ser duplicada quando considerado o quesito formas das peças. Para tanto, fez-se necessário comparar resultados de concretos curados ao ambiente (com temperatura em torno dos 23°C), com concretos curados termicamente com temperaturas máximas de 40°C e 60°C. Para cada tipo de cura, foram determinadas as resistências à tração, à compressão e o módulo de elasticidade nas idades de 8 e 24 h, 7 e 28 dias. Para análise dos resultados, foi realizado um tratamento estatístico, que avaliou a significância dos resultados. Os resultados mostram que os 15 MPa foram alcançados em 8 horas para a cura com patamar de 60°C, porém o tratamento estatístico, mostrou também, que a cura com temperatura máxima de 40°C pode ser eficaz, quando analisadas as características de resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade.

Palavras chave: Resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade.

ABSTRACT

The construction industry compared to other sectors, can be considered late, considering the great waste of material, lack of mass production and a skilled work force with low education. The prefabrication of structural parts of precast concrete is approaching the construction of a possible industrialization. This prefabrication but may be limited when analyzed using forms for concrete. The high cost of a well as limiting the amount of times it is used daily, hinder, or even become more expensive this production. The fact that concrete has to have adequate strength so it can be hoisted is the factor that limits the deformation of the part, considering that this resistance is needed in a few hours. For this situation, the thermal curing is presented as an alternative to this difficulty of mass production. Within this context, this work presents the study of the effect of thermal curing on early strength of concrete for use in the precast industry. The goal is to get in eight hours 15 MPa compressive strength value that is referenced by the bibliography, so that the production of a factory precast can be doubled when considering the Question shapes of the pieces. For this it was necessary to compare results of concrete cured at room temperature (with temperature around 23 ° C), with thermally cured concrete with maximum temperatures of 40 ° C and 60 ° C. For each type of curing each 32 body -specimens were molded, each test was to cure the ages of 8 and 24 hours, 7 and 28 days. In every age, was held testing compressive strength (3 body-of - evidence), traction by diametrical compression (3 body-of - evidence) and elastic modulus (2 body-of - evidence). After performing all the test described above, a statistical treatment was carried out, so that was assessed the significance of the results. The results show that 15 MPa was achieved in 8 hours to cure to a level of 60 ° C, but the statistical analysis also showed that healing with a maximum temperature of 40 ° C can be effective when analyzed characteristics of compressive strength, resistance tensile strength and modulus of elasticity.

Keywords: Compressive strength, tensile strength, modulus of elasticity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Consumo de cimento no concreto pré-moldado	15
Figura 02 - Consumo de concreto pré-moldado por habitante	15
Figura 03 – Fissuras decorrentes do içamento prematuro da peça	16
Figura 04 - O barco de Lambot, 1848	19
Figura 05 - Ciclo de cura térmica	14
Figura 06 - Fissuras na superfície do elemento pré-moldado.....	16
Figura 07 - Fluxograma das etapas da pesquisa	18
Figura 08 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural	20
Figura 09 - Determinação do material pulverulento do agregado miúdo.....	21
Figura 10 - Determinação da massa específica aparente através do método do picnômetro ...	22
Figura 11 - Curva granulométrica do agregado miúdo artificial	23
Figura 12 - Curva granulométrica do agregado miúdo composto	25
Figura 13 - Determinação da massa específica aparente da brita.....	26
Figura 14 - Corpo-de-prova.....	31
Figura 15 -a) brita lavada; b) brita secando ao ambiente	31
Figura 16 - Ambiente utilizado para cura ambiente	33
Figura 17 - Cura térmica em estufa	34
Figura 18 - Superfície irregular dos corpos-de-prova	35
Figura 19 – Prensa para ensaio de resistência à compressão.....	35
Figura 20 – Ensaio de tração por compressão diametral	36
Figura 21 – Ensaio de módulo de elasticidade	37
Figura 22 - Carregamento para a determinação do módulo de Elasticidade.....	38
Figura 23 - Ciclo térmico com temperatura máxima de 40°C	39
Figura 24 - Diferença de coloração entre corpos-de-prova	40
Figura 25 - Ciclo térmico com temperatura máxima de 60°C	41
Figura 26 - Pouca diferença de coloração entre corpos-de-prova	41
Figura 27 - Comparação resistência à compressão axial.....	43
Figura 28 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à compressão para 8 horas	44
Figura 29 - Intervalo de confiança de 95% para resistência à compressão para 24 horas.....	45
Figura 30 - Intervalo de confiança de 95% para resistência à compressão para 7dias.....	45
Figura 31 - Intervalo de confiança de 95% para resistência à compressão para 28 dias.....	46
Figura 32 -Comparação resistência à tração por compressão diametral	47

Figura 33 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à tração para 8 horas	48
Figura 34 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à tração para 24 horas	49
Figura 35 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à tração para 7 dias	49
Figura 36 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à tração para 28 dias	50
Figura 37 - Comparação módulo de elasticidade	51
Figura 38 – Intervalo de confiança de 95% para módulo de elasticidade para 8 horas.....	52
Figura 39 – Intervalo de confiança de 95% para módulo de elasticidade para 24 horas.....	53
Figura 40 – Intervalo de confiança de 95% para módulo de elasticidade para 7 dias.....	53
Figura 41 – Intervalo de confiança de 95% para módulo de elasticidade para 28 dias.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Ciclos térmicos para diferentes autores.....	14
Tabela 02 - Características CP-V ARI	19
Tabela 03 - Porcentagem material pulverulento agregado miúdo natural.....	21
Tabela 04 - Valores da massa unitária da areia natural	22
Tabela 05- Valores da massa específica aparente da areia natural.....	23
Tabela 06 - Porcentagem material pulverulento agregado miúdo artificial	23
Tabela 07 - Valores da massa unitária da areia artificial.....	24
Tabela 08 - Valores da massa específica aparente da areia artificial	24
Tabela 09 - Características areia natural e artificial	24
Tabela 10 - Valores da massa unitária da brita.....	26
Tabela 11 - Valores da massa específica aparente da brita	27
Tabela 12 - Determinação aproximada do consumo de água.....	28
Tabela 13 – Quantia de material utilizado.....	32
Tabela 14 – Teste de Tukey para resistência à compressão em 8 horas.....	43
Tabela 15 – Teste de Tukey para resistência à compressão em 24 horas.....	44
Tabela 16 - Teste de Tukey para resistência à tração em 8 horas	47
Tabela 17 - Teste de Tukey para resistência à tração em 24 horas	48
Tabela 18 - Teste de Tukey para resistência à tração em 7 dias.....	49
Tabela 19 - Teste de Tukey para resistência à tração em 28 dias.....	50
Tabela 20 - Teste de Tukey para módulo de elasticidade em 8 horas	52
Tabela 21 - Aumento percentual para os diferentes tipos de cura.....	54
Tabela 22 - Granulometria areia natural.....	65
Tabela 23 - Granulometria areia artificial	67
Tabela 24 - Granulometria areia composta.....	69
Tabela 25 - Granulometria brita	71
Tabela 26 - Ensaio de resistência à compressão.....	73
Tabela 27 – Teste de variância resistência à compressão para 8 horas	75
Tabela 28 – Teste de variância resistência à compressão para 24 horas	75
Tabela 29 – Teste de variância resistência à compressão para 7 dias	75
Tabela 30 – Teste de variância resistência à compressão para 28 dias	75
Tabela 31 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	77
Tabela 32 – Teste de variância resistência à tração para 8 horas	79

Tabela 33 – Teste de variância resistência à tração para 24 horas	79
Tabela 34 – Teste de variância resistência à tração para 7 dias	79
Tabela 35 – Teste de variância resistência à tração para 28 dias	79
Tabela 36 - Ensaio de módulo de elasticidade	81
Tabela 37 – Teste de variância módulo de elasticidade para 8 horas.....	83
Tabela 38 – Teste de variância módulo de elasticidade para 24 horas.....	83
Tabela 39 – Teste de variância módulo de elasticidade para 7 dias	83
Tabela 40 – Teste de variância módulo de elasticidade para 7 dias	83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 HISTÓRICO DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO.....	19
2.1.1 PRÉ-MOLDADO EM CONCRETO NO MUNDO	19
2.1.2 PRÉ-MOLDADO EM CONCRETO NO BRASIL	21
2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS	22
2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO	23
2.4.2 CURA DO CONCRETO	24
2.4.2.1 CURA TÉRMICA	25
2.4.3 DESMOLDAGEM	15
2.5 FISSURAS EM PEÇAS PRÉ-MOLDADAS	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 MATERIAIS	19
3.1.1 CIMENTO	19
3.1.2 ÁGUA	19
3.1.3 AGREGADOS.....	20
3.1.3.1 AGREGADO MIÚDO.....	20
3.1.3.2 AGREGADO GRAÚDO.....	25
3.2 MÉTODOS.....	27
3.3 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DO CONCRETO (MÉTODO DA ABCP)	27
3.3.1 PREPARO DO CONCRETO	30
3.4 CURA	32
3.4.1 CURA AMBIENTE	32
3.4.2 CURA TÉRMICA	33
3.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	34
3.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	36
3.7 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE	37
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	38

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 CURA TÉRMICA.....	39
4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	42
4.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.....	46
4.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	51
4.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO.....	656
5 CONCLUSÃO.....	56
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE A – GRANULOMETRIA AREIA NATURAL.....	64
APÊNDICE B – GRANULOMETRIA AREIA ARTIFICIAL.....	66
APÊNDICE C – GRANULOMETRIA AREIA COMPOSTA.....	68
APÊNDICE D – GRANULOMETRIA BRITA.....	70
APÊNDICE E – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	72
APÊNDICE F – TESTE DE VARIÂNCIA – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	74
APÊNDICE G – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	76
APÊNDICE H – TESTE DE VARIÂNCIA – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	78
APÊNDICE I – ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	80
APÊNDICE J – TESTE DE VARIÂNCIA – MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	82
ANEXO A – CURVA DE ABRAMS.....	84
ANEXO B – TABELA CONSUMO DE AGREGADO GRAÚDO.....	86

1 INTRODUÇÃO

O ramo da construção civil pode ser considerado atrasado comparando-se a outros setores industriais, levando-se em consideração o alto desperdício de materiais, a falta de uma produção seriada, e ainda uma mão-de-obra com baixo grau de escolaridade. Em contrapartida nota-se um crescente aumento no nível de desenvolvimento das técnicas construtivas. Juntamente com novas tecnologias foi possibilitado dinamizar e aperfeiçoar processos construtivos em se tratando de estruturas de concreto armado.

É necessário que haja uma convergência entre os novos métodos construtivos de estruturas em concreto armado e o tradicionalismo da construção civil. Assim sendo, a utilização de elementos pré-moldados de concreto é uma alternativa já presente no mercado, que está se expandindo.

A industrialização é marcada principalmente pela automatização, ou seja, o trabalho do homem ser substituído por mecanismos eletrônicos ou mecânicos. Assim, é possível fazer uma analogia entre os elementos pré-moldados com a industrialização. O mesmo não significa apenas o processo da fabricação em si, mas sim todos os processos presentes como transporte, montagem e inspeção/controle. Logo industrialização na construção civil significa uma maior organização bem como planejamento, uma execução seriada e contínua, e um processo de produção eficiente (BARDELLA, 2005).

O concreto pré-moldado acompanhou a evolução do concreto do final do século XIX até o início da Segunda Guerra Mundial, mas seu desenvolvimento relaciona-se com o grande impulso no quarto de século que se seguiu à Segunda Guerra Mundial (DEBS, 2000).

Ainda que a nível mundial o concreto pré-moldado esteja mais avançado, no Brasil tem sido pouco explorado. Inicialmente, porque no Brasil não existiu uma crise acentuada de falta de edificações em grande escala, como ocorreu na Europa após a Segunda Guerra Mundial. Já se tratando dos dias atuais pode-se observar uma instabilidade econômica que dificulta um planejamento em longo prazo, falta de oferta de equipamentos, e ainda um leve toque de conservadorismo diante de novos métodos construtivos. As Figuras 01 e 02 mostram a situação do Brasil comparando-se com demais países.

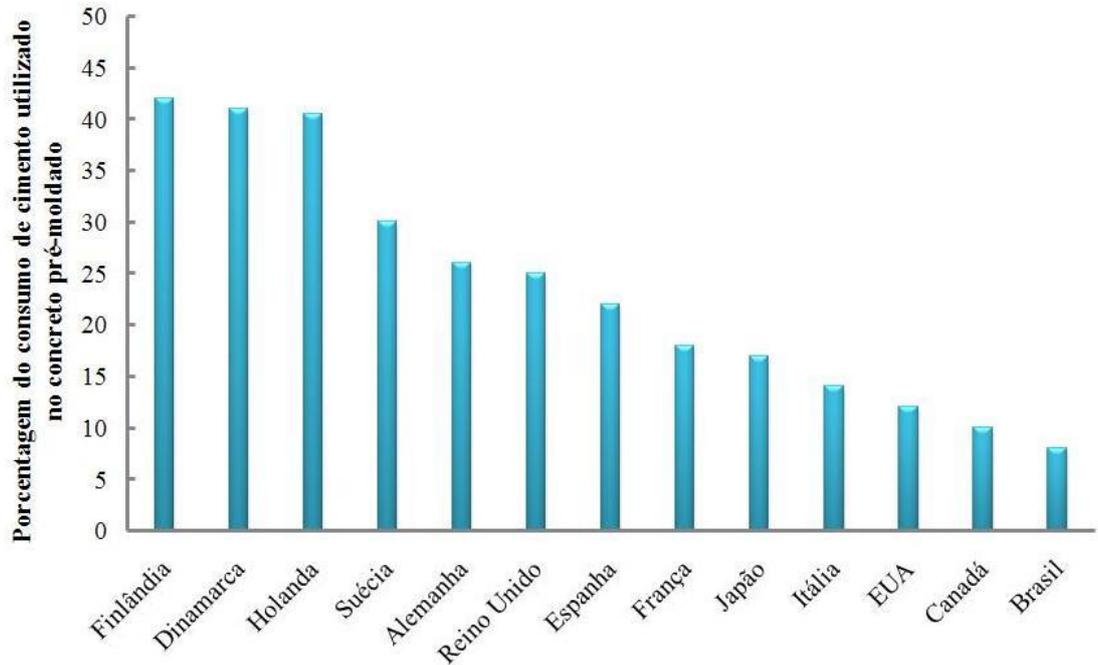


Figura 01 - Consumo de cimento no concreto pré-moldado
 Fonte: Adaptado de Debs (2000 p.4).

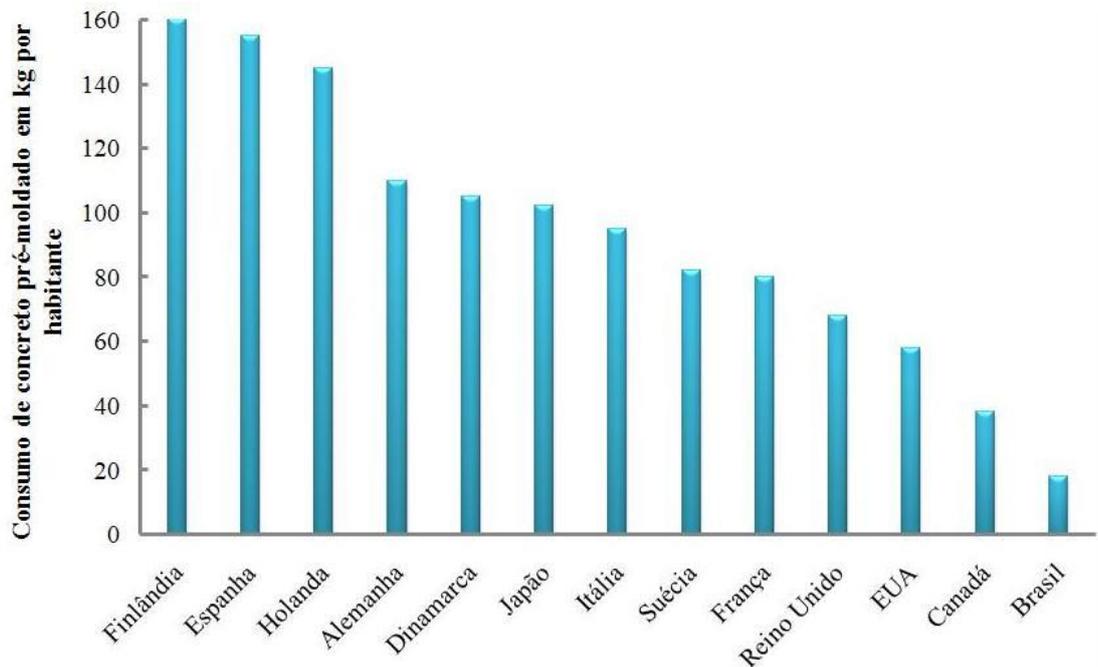


Figura 02 - Consumo de concreto pré-moldado por habitante
 Fonte: Adaptado de Debs (2000 p.4).

Como pode ser observado na Figura 01, o Brasil tem pouco mais de 5% do consumo de cimento utilizado para produção do concreto pré-moldado, enquanto que países europeus como Finlândia, Dinamarca e Holanda tem mais de 40%. A Figura 02 também mostra uma grande diferença do Brasil para países europeus, comparando-se o consumo de concreto pré-

moldado (kg) por habitante, próximo de 20 no caso do Brasil e próximo de 160 para a Finlândia.

Como vantagens do uso do concreto pré-moldado têm-se a organização de um canteiro de obras e a rapidez na execução. Entretanto como desvantagens, o superdimensionamento e a super dosagem por conta do transporte é um fator, além da espera que se deve ter para a desmoldagem, limitando assim a sua produção, o que acaba gerando um maior custo com fôrmas para a produção do pré-moldado. O içamento precoce das peças pode provocar fissuras no concreto, como mostra a Figura 03.



Figura 03 – Fissuras decorrentes do içamento prematuro da peça
Fonte: Milani, 2014.

O objetivo deste trabalho é analisar a resistência do concreto em suas idades iniciais (com intuito de aumentar a produção de elementos pré-moldados), bem como um estudo e tentativa para acelerar a cura (cimento de alta resistência inicial e curas térmicas), além da correlação do ganho de resistência à tração com o ganho à compressão também nas idades iniciais.

Dessa forma, o trabalho a seguir estrutura-se em: Capítulo 1 abrange introdução onde é contextualizado o assunto além de apresentar justificativa e objetivos geral e específicos do trabalho; Capítulo 2 onde é feita a revisão bibliográfica do tema em questão; Capítulo 3 abrange materiais e métodos; Capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões; Capítulo 5 as conclusões; no Capítulo 6 são feitas algumas sugestões para trabalhos futuros, posteriormente são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração da pesquisa, e por último os Apêndices com as Tabelas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência da cura térmica, em concretos convencionais, no desenvolvimento de resistência inicial do concreto para elementos estruturais pré-moldados.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Alcançar resistência mínima à compressão de 15,0 MPa em 8 horas de cura térmica;
- Analisar a influência do método de cura no desenvolvimento da resistência inicial e do módulo de elasticidade do concreto;
- Correlacionar o ganho de resistência à tração com o ganho à compressão do concreto nas idades iniciais;
- Analisar o efeito da cura térmica na resistência à compressão aos 28 dias.

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil tem buscado cada vez mais soluções que visam maior rapidez em seus métodos construtivos, organização e limpeza. Elementos estruturais em pré-moldado aceleram a execução da obra, deixam um canteiro mais organizado e limpo, considerando que não há armazenamento de aço e materiais para o preparo do concreto.

Contudo, a grande competitividade de um mercado aquecido como é o caso do setor da construção civil, demanda soluções imediatas e eficientes. A desforma das peças pré-moldadas ainda não tem uma padronização ideal na região sudoeste do Paraná. As empresas locais possuem métodos empíricos comparados a demais setores da engenharia civil. Além disso, a desforma limita a produção de pré-moldados, considerando que a peça pré-moldada deve ter uma resistência mínima para que possa ser içada.

Segundo Debs (2000), o concreto pré-moldado no Brasil tem pouca exploração. Dentre os motivos tem-se: instabilidade econômica, que se mantém até os dias atuais, que dificulta o planejamento e os investimentos em longo prazo, a falta de conhecimento de alternativas em concreto pré-moldado, escassez de oferta de equipamentos, e

indisponibilidade comercial de dispositivos para realizar as ligações e o manuseio dos elementos.

A importância da presente pesquisa está na análise do método de cura do concreto, para que o mesmo possa atingir uma resistência inicial mínima em sua idade inicial, e assim ter uma desforma mais rápida e eficiente, agilizando dessa forma um mercado promissor, que é o ramo dos pré-moldados dentro da construção civil. Sua viabilidade é verificada tendo em vista a disponibilidade do laboratório de materiais de construção do Campus, assim como informações cedidas por empresas do ramo, localizadas na região Sudoeste do Paraná.

A princípio pode-se classificar a pesquisa como qualitativa já que busca definir uma maneira de aumentar a resistência do concreto em suas idades iniciais, assim contribuindo para a qualidade e produtividade da indústria de pré-moldados. Porém, foram analisadas informações obtidas em ensaios experimentais, assim classificando a pesquisa como quantitativa. Dessa forma, o presente trabalho caracteriza-se como qualitativo-quantitativo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão abordados os itens que contemplam o concreto pré-moldado, com um breve histórico, características, vantagens e desvantagens, materiais constituintes, também seu processo de produção, cura e manifestações patológicas.

2.1 HISTÓRICO DO CONCRETO PRÉ-MOLDADO

No presente item, serão abordados o pré-moldado no mundo e o pré-moldado no Brasil.

2.1.1 PRÉ-MOLDADO EM CONCRETO NO MUNDO

Segundo Debs (2000), a pré-moldagem sempre esteve presente na evolução do concreto armado. As primeiras peças de concreto armado, que se tem notícia, são duas, o barco de Lambot (Figura 04), em 1848, e os vasos de Monier, em 1849, que foram pré-moldados. A primeira construção com o emprego de elementos pré-moldados foi, provavelmente, o cassino de Biarritz, na França, em 1891, na qual somente as vigas foram pré-moldadas.



Figura 04 - O barco de Lambot, 1848
Fonte: Ferreira, 1989.

Pode-se afirmar então, que os elementos pré-moldados surgiram antes da industrialização, conseqüentemente antes dos elementos pré-fabricados.

A norma NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO..., 2006) faz a diferenciação entre elementos pré-moldados e pré-fabricados, sendo que elementos pré-moldados são executados fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade, já os elementos pré-fabricados são executados industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiro de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

O pré-fabricado se identifica primeiramente com a história da industrialização, que está relacionada com o período histórico da mecanização, ou seja, com a evolução das ferramentas e máquinas para produção de bens. Com essa evolução, as atividades que antes eram desenvolvidas pelos homens, com o auxílio de máquinas, aos poucos passaram a ser substituídas por mecanismos automatizados, com aparelhos mecânicos ou eletrônicos (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

Foi no período pós Segunda Guerra Mundial, principalmente na Europa, que verdadeiramente, começou a história da pré-fabricação de forma mais significativa da industrialização na construção. Desta maneira, a utilização intensiva do pré-fabricado em concreto deu-se em função da necessidade de se construir em grande escala.

Segundo Salas (1988) a utilização dos pré-fabricados de concreto pode ser dividida nas três etapas:

- De 1950 a 1970 – Período em que a devastação da guerra ocasionou a falta de edificações. Houve a necessidade de se construir diversos edifícios, optando-se pela construção pré-fabricada, tanto de edifícios habitacionais quanto escolares, hospitais e industriais. Os edifícios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-fabricados, cujos componentes eram procedentes do mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou de chamar ciclo fechado de produção.

- De 1970 a 1980 – Período em que ocorreram acidentes em alguns edifícios construídos com elementos pré-fabricados. Esses acidentes provocaram além de uma rejeição social a esse tipo de edifício, uma profunda revisão no conceito de utilização nos processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados. Neste contexto teve o início do declínio dos sistemas pré-fabricados de ciclo fechado de produção.

- Pós 1980 – Esta etapa caracterizou-se, pela demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional. Caracterizou-se também, pela consolidação de uma pré-fabricação de ciclo aberto, à base de componentes compatíveis, de origens diversas. “A industrialização de

componentes destinados ao mercado e não exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecida como ciclo aberto”.

A partir de então, deu-se início ao aprimoramento e ao desenvolvimento tecnológico. Nesse contexto a pré-fabricação em concreto se tornou o meio mais difundido para a industrialização da construção civil.

2.1.2 PRÉ-MOLDADO EM CONCRETO NO BRASIL

De acordo com Vasconcelos (2002) a primeira grande obra, que se tem notícia, que tem a utilização de elementos pré-moldados no Brasil refere-se à execução do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro. Christiani-Nielsen, firma construtora dinamarquesa com sucursal no Brasil, executou em 1926 a obra completa do hipódromo, com diversas aplicações de elementos pré-moldados, dentre eles, pode-se citar as estacas nas fundações e as cercas no perímetro da área reservada ao hipódromo.

Nesta mesma obra foi utilizado o cimento Portland dinamarquês Aarlborg (Urso Branco) de endurecimento rápido, de modo a se conseguir, com 3 dias de idade, a mesma resistência que habitualmente só seria alcançada depois de 28 dias. A Christiani-Nielsen trouxe para o Brasil o *Know-how* da matriz dinamarquesa na fabricação das estacas com processo próprio, logo patentado no Brasil.

A preocupação com a industrialização dos sistemas construtivos teve início apenas no fim da década de 50, época, que conforme Vasconcelos (2002), na cidade de São Paulo, a Construtora Mauá, especializada em construções industriais, executou vários galpões pré-moldados no próprio canteiro de obras.

Com o início do chamado “Milagre Brasileiro”, nos anos 70, o Brasil era considerado como o país do futuro e o investimento em tecnologia promoveu a ampliação das possibilidades de aplicações do concreto pré-moldado (CHASTRE; LÚCIO, 2012).

Porém, a pré-fabricação começa a ter maior visibilidade no início dos anos 80, na execução de obras industriais e especialmente em obras de empresas multinacionais, as quais já vinham adotando esse sistema construtivo para suas obras fora do Brasil. Nessas Obras já se adotavam conceitos de industrialização e de alta produtividade, com exigências rigorosas no controle de qualidade (CHASTRE; LÚCIO, 2012).

Essas características, além da rapidez construtiva requerida, também motivaram a continuidade do emprego do pré-fabricado na construção das grandes redes de hipermercados no Brasil, no início da década de 90, contribuindo sobremaneira para a consolidação desse

conceito. No final da década de 90, foi quebrado o paradigma em que o sistema construtivo com pré-fabricados é sempre associado a obras com pouca liberdade arquitetônica, com a introdução de novas concepções arquitetônicas e de inovações tecnológicas.

Atualmente evidencia-se a grande aplicabilidade da pré-fabricação em concreto em obras industriais, comerciais, habitacionais e de infra estrutura (pontes, viadutos, passarelas, portos, aeroportos e na área de energia), além da vasta aplicação em complexos esportivos como estádios e arenas. A indústria brasileira está apta a fornecer estruturas e elementos pré-fabricados que podem ser empregados da fundação à fachada de edificações em geral, com desenvolvimento tecnológico compatível a empresas internacionais desse segmento.

2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS

No caso das fábricas, onde a produção é feita em grande escala, as vantagens decorrentes das facilidades de execução são bem mais significativas. Entre outras, essas vantagens seriam possibilitar: grande reutilização das formas, emprego da protensão com armadura pré-tracionada, emprego de seção com melhor aproveitamento dos materiais, maior produtividade da mão-de-obra e maior controle de qualidade. A pré-moldagem também tem um destaque em países de clima muito frio, nos quais em grande parte do ano ter-se-ia dificuldade de execução do concreto moldado no local (DEBS, 2000).

As características que desfavorecem a utilização da pré-moldagem são aquelas decorrentes da colocação dos elementos nos locais definitivos de utilização, que estariam relacionadas aos custos e às limitações do transporte e da montagem, e da necessidade de prover a ligação entre os elementos que compõem a estrutura, onde normalmente ligações mais simples acarretam estruturas mais pobres em relação às moldadas no local que são ligações que reproduzem melhor o monolitismo das estruturas.

É importante destacar que, com a utilização de estruturas pré-moldadas, pode-se prever o desmonte da construção. Esse aspecto tem merecido a atenção dos especialistas e viria a reduzir ou eliminar, uma das desvantagens das estruturas de concreto que é a dificuldade de desmonte e de reciclagem dos elementos. Essa possibilidade se justifica em razão da obsolescência das construções estarem cada vez mais presente e de fornecer uma alternativa de rearranjo do espaço construtivo (DEBS, 2000).

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

O concreto endurecido pode ser considerado como uma rocha artificial, comparável a um conglomerado constituído por uma associação de agregados graúdos e grãos de areia, de dimensões variáveis, envolvidos por uma pasta de cimento. As propriedades desse material heterogêneo, dependem de um grande número de fatores relativos à pasta em si, aos agregados utilizados e da ligação entre esses dois elementos essenciais (PAULON, 2005).

- *Resistência à compressão*: considerada a propriedade mais importante do concreto, considerando que a esta os códigos nacionais e internacionais buscam associar as demais resistências e propriedades. A determinação é realizada através de ensaios à compressão de corpos-de-prova com dimensões padronizadas. Também é padronizada a moldagem, o tempo em que os corpos-de-prova ficam nas formas, tempo e tipo de cura depois de desmoldados, aparelhamento da face (capeamento) pela qual ocorreu a moldagem. Devido às muitas variáveis que influenciam diretamente a resistência do concreto, os valores das resistências dos corpos-de-prova de um mesmo concreto, ou seja, a mesma betonada, moldados com os mesmos cuidados, são díspares. Os resultados terão maior diferença quanto mais diferentes forem as variáveis envolvidas, desde o processo produtivo, a cura, o tipo de ensaio e os erros no procedimento e no manuseio.

- *Resistência à tração*: quando uma peça estrutural em concreto é submetida à ação de momentos fletores e força cortante, apresentam nas seções transversais em que atuam, deformações e tensões de tração. Quando a intensidade da tensão ficar próxima da resistência à tração, existe uma grande probabilidade de se iniciar o processo de abertura de fissuras, inerente ao material (PAULON, 2005).

- *Módulo de elasticidade*: segundo Shehata (2011), os módulos de elasticidade são o tangente, secante e cordal. O módulo tangente é o coeficiente angular da reta tangente a qualquer ponto da curva tensão-deformação de compressão. O módulo cordal é definido pela reta que liga dois pontos quaisquer da curva tensão deformação. Enquanto que o módulo secante é uma relação qualquer e a deformação a ela correspondente, ou seja, o coeficiente angular da reta que liga os pontos da curva tensão deformação correspondentes a essa tensão e à tensão igual a zero. Apesar das normas darem diferentes denominações ao módulo, as mesmas convergem do que é chamado de módulo tangente inicial. Tal módulo é referenciado pela NBR 8522 (ASSOCIAÇÃO...,2005).

Ainda segundo Shehata (2005), normalmente são usadas expressões empíricas simplificadas para avaliar o módulo de elasticidade, que, em geral, são função da resistência à

compressão média ou característica do concreto. Algumas expressões levam também em conta a massa específica e/ou o tipo de agregado do concreto ou ainda a existência de adições.

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO..., 2003), essa relação pode ser dada por:

$$E_{ci} = 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (01)$$

onde E_{ci} é o módulo de elasticidade (j tem que ser maior que 7 dias) e f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto (entre 15 MPa e 50 MPa), onde ambos são dados em MPa. Já para ACI 318M (2002) a relação é dada por:

$$E_{cs} = 4700 \sqrt{f_{ck}} \quad (12)$$

2.4.2 CURA DO CONCRETO

A cura do concreto pode ser entendida como o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento do concreto. A finalidade da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível dessa condição até que os espaços inicialmente ocupados pela água sejam ocupados pelos produtos da hidratação do aglomerante. A cura adequada é fundamental para que o concreto alcance o melhor desempenho, resultando em uma redução de sua porosidade, contribuindo para aumentar a durabilidade das estruturas (BARDELLA, 2005).

Debs (2000) cita que quando se executa elementos pré-moldados, tem-se o objetivo de libertar a fôrma e o elemento moldado o mais rápido possível, ou seja, procura-se reduzir o chamado “tempo morto”, para que assim seja possível aumentar a produtividade do processo. As possíveis formas de acelerar o endurecimento do concreto são as seguintes:

- utilizar cimento de alta resistência inicial (cimento ARI);
- aumentar a temperatura;
- utilizar aditivos.

O mesmo autor cita que o aumento da temperatura acelera a velocidade das reações químicas entre o cimento e a água. Mesmo sendo bastante interessante acelerar o endurecimento do concreto, devem ser tomadas algumas precauções durante sua realização.

Tais cuidados referem-se ao perigo da perda de água necessária para a hidratação do cimento, devido à vaporização e ao perigo de elevados gradientes térmicos provocarem microfissuração e, conseqüentemente, perda de resistência.

De acordo com Melo (2000):

É consenso na literatura o entendimento de que o mecanismo de hidratação dos aglomerantes hidráulicos é uma reação de natureza exotérmica. Com a elevação da temperatura, uma etapa do processo inicial de hidratação, consegue-se acelerar as reações, de modo a obter-se resistências maiores em curtos espaços de tempo. O melhor momento para aplicação de ciclos térmicos é durante o estágio de aceleração, após o período de indução (após início de pega do cimento). Observa-se que o aumento da temperatura de cura contribui para que ocorram mais rapidamente os picos característicos nas curvas calorimétricas referentes à hidratação do cimento Portland, correspondente ao 3º estágio (período de aceleração – processo ainda controlado quimicamente).

Debs (2000) afirma que em relação à cura propriamente dita, pode ser feita das seguintes maneiras:

- Cura por aspersão – na qual as superfícies expostas são mantidas úmidas;
- Cura por imersão – corresponde à colocação dos elementos em tanques de água;
- Cura térmica – corresponde a aumentar a temperatura do concreto;
- Cura com película impermeabilizante – corresponde a aplicar pinturas que impeçam a saída de água pela superfície exposta.

2.4.2.1 CURA TÉRMICA

Debs (2000) cita que as formas de proceder à cura térmica são:

- com vapor atmosférico;
- com vapor e pressão (autoclave);
- com circulação de água ou óleo em tubos junto às fôrmas;
- com resistência elétrica (utilização da armadura ou fios especiais como resistência elétrica).

O método mais utilizado nos pré-moldados de concreto é a cura a vapor atmosférica. Com relação aos demais casos ressalta-se o emprego de vapor e pressão em elementos de concreto celular. Os demais não são tão usuais. Ainda pode-se citar outras formas de aumentar a temperatura, como água e agregados aquecidos antes da mistura.

Segundo a NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO..., 2006), o tratamento térmico deve ser cuidadosamente controlado, considerando-se tais fases:

- tempo de espera entre o fim da concretagem e o início da aplicação do calor;
- velocidade máxima da elevação da temperatura;
- temperatura máxima;
- tempo de aplicação do calor;
- esfriamento.

Tais condições devem ser criteriosamente estabelecidas por meio de ensaios experimentais que devem levar em consideração os tipos de aglomerantes, agregados e aditivos utilizados, o fator água/cimento, assim como as resistências mecânicas que o concreto deve atingir por ocasião da desmoldagem, do transporte, da montagem e do uso.

Camarini (1995) *apud* BARDELA (2005) afirma que o principal objetivo da cura térmica é tornar mais rápido o processo de cura dos concretos e obter uma resistência mecânica mínima desejada, em um menor espaço de tempo. As empresas que trabalham com concretos pré-moldados utilizam muito a cura térmica, devido ao fato de reduzir o tempo de cura e assim utilizar as formas, leitos de protensão e equipamentos de cura a intervalos mais frequentes, diminuindo assim as áreas de estocagem e permitindo colocar mais peças em serviço em um período menor ao que se teria se fosse utilizada a cura convencional.

Conforme mesmo autor, a cura térmica não deve exceder 80°C para não causar modificações na microestrutura do concreto. Para evitar danos às peças, é necessário um ciclo de cura, conforme mostra a Figura 05.

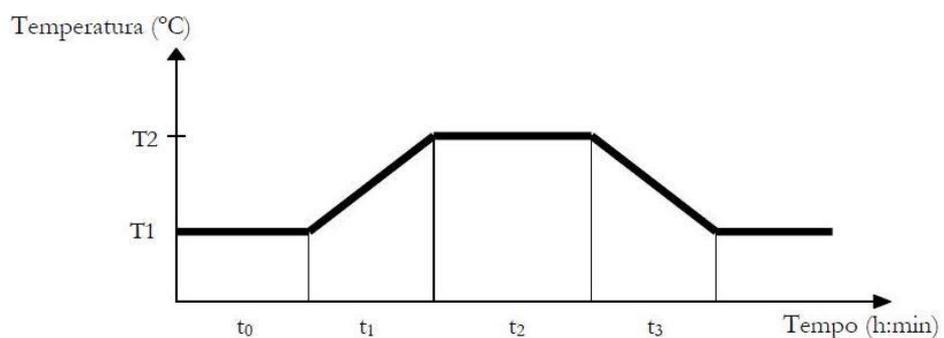


Figura 05 - Ciclo de cura térmica
Fonte: CAMARINI (1995).

Na figura tem-se o tempo no eixo das abscissas e a temperatura no eixo das ordenadas, onde são observados os seguintes períodos:

- T₁: temperatura ambiente;

- T_2 : temperatura máxima atingida no ciclo;
- t_0 : período de espera. Tempo decorrido entre a mistura do aglomerante com a água e o início do aquecimento. Deve coincidir com o início do tempo de pega do concreto;
- t_1 : período de elevação da temperatura. Aumento controlado da temperatura de cura, não podendo ser superior a 20°C por hora;
- t_2 : período de manutenção da temperatura. Regime isotérmico até que se atinja a resistência desejada (definido de acordo com as necessidades de desforma e utilização);
- t_3 : período de esfriamento. Diminuição controlada da temperatura das peças até a temperatura ambiente.

A Tabela 01 mostra os diferentes valores adotados por algumas literaturas para t_0 , t_1 , t_2 , t_3 :

Tabela 01 - Ciclos térmicos para diferentes autores						
Autor	t0	t1	t2	t3	Comparativo	Resultados
Bardella	460 minutos (CP III 40 E)	20°C/h	4 horas a 80°C	30°C/h	Comparação entre cura térmica e cura ambiente	Diferença Máx. 15MPa
Melo	Tempo de início de pega do cimento	22,5°C/h	3 horas a 70°C	45°/h	Comparação entre cura térmica e cura ambiente	Diferença Máx. 10MPa
Ana Santos	60 minutos/ 120 minutos	40°C/h	3 horas a 80°C	35°C/h	Compara o t0 de 60 e 120 minutos	Diferença Máx. 2MPa
Liane Santos	120 minutos	25°C/h	4 horas a 60/80°C	33°C/h	Compara o t2 de 60 e 80°C	Diferença Máx. 5MPa
Martins	Tempo de início de pega do cimento	20°C/h	2 horas a 60°C	20°C/h	Comparação entre cura térmica e cura imersa	Diferença Máx. 5MPa

Fonte: Autores, 2014.

Para o estudo de Bardella (2005), foi usado o cimento CP III 40 E, onde foram comparados os valores de resistência mecânica à compressão da cura térmica com a cura ambiente, para 1, 3, 7 e 28 dias (para o ciclo térmico acima demonstrado). O resultado encontrado pelo mesmo foi de aproximadamente 15,0 MPa a mais de resistência para a cura térmica com 1 dia de cura. Até 7 dias, a cura térmica se mostrou mais eficiente (no 7º dia uma diferença de 5 MPa), porém a partir de 28 dias, a cura ambiente começa apresentar valores maiores (chegando a 8 MPa em 180 dias).

Para Melo (2000), também foi comparado a resistência obtida pela cura térmica com a cura ambiente (para 6 horas, 1, 7, 28 e 91 dias), com a diferença de que foi utilizado CP – V ARI. Os valores encontrados foram de uma resistência maior para cura térmica num prazo de

6 horas (em torno de 10MPa), uma resistência semelhante entre os métodos para 1, 7 e 28 dias, e para 91 dias a cura ambiente apresentou valores maiores (5 MPa).

Santos (2009) utilizou como variável comparativa o valor de t_0 chamado pela autora de tempo de espera, onde o mesmo foi testado para 60 e 120 minutos. Para este estudo também foi utilizado CP - V ARI e as resistências obtidas em 8 horas, 7 e 28 dias. Como resultado, em 8 horas e 7 dias foi mais eficaz a cura térmica com um t_0 de 120 minutos, enquanto que para 28 dias ocorreu o contrário.

Já para Santos (2009) a variável comparativa foi t_2 , que é a temperatura máxima que o ciclo atinge, onde foram analisadas as temperaturas máximas de 60 e 80°C. Foi analisada a resistência em 1, 3, 7 e 28 dias, novamente empregando-se CP – V ARI. Para 1 e 3 dias, a maior resistência foi com a temperatura máxima de 80°C, chegando a uma diferença de 5 MPa para 1 dia de cura.

Martins (2001) comparou dois tipos de cura diferente, a térmica e a por imersão, onde em ambas os tempos do ciclo foram o mesmo. O autor ainda cita que concretos curados termicamente a 80°C apresentam queda de resistência quando comparadas ao concreto curado por imersão após 28 dias. Tal perda pode ser explicada a uma distribuição não uniforme dos produtos de hidratação inicial dos compostos, causando perda de resistência e aumento da porosidade.

2.4.3 DESMOLDAGEM

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO..., 2006) cita que a execução das formas devem atender todas as condições para facilitar a desmoldagem, sem que haja danos nos elementos concretados, como previsão de ângulos de saída, livre remoção das laterais e cantos chanfrados ou arredondados. E no caso em que as superfícies das formas sejam tratadas com produtos antiaderentes, com a finalidade de facilitar a desmoldagem, esse tratamento deve ser feito antes da colocação da armadura. Os produtos utilizados não devem exercer ação química sobre o concreto fresco ou endurecido, nem deixar na superfície resíduos que sejam prejudiciais, ou ainda que possam dificultar a ligação do concreto lançado *in situ* ou aplicação de revestimento quando for o caso. Os produtos também não devem atingir a armadura.

De acordo com Debs (2000) na desmoldagem deve ser levada em consideração certa aderência entre o concreto e a fôrma, que depende do material da fôrma e eficiência do desmoldante. Quanto à forma de se realizar a desmoldagem, é através de meios mecânicos,

que assim necessitam dispositivos de içamento. Podem ser utilizados também macacos hidráulicos ou desmoldagem a ar comprimido.

Ainda de acordo com o mesmo autor, os procedimentos utilizados na desmoldagem podem ser das seguintes formas:

- Direta: este caso corresponde à retirada dos elementos por levantamento, com retirada ou não das partes laterais;

- Por separação dos elementos: é correspondente às fôrmas tipo bateria utilizada na execução de painéis;

- Por tombamento da fôrma: tal procedimento também é direcionado à execução de painéis, onde o elemento é moldado com a fôrma na posição horizontal e posteriormente é colocado na posição vertical para desmoldagem através do uso de mesa de tombamento.

2.5 FISSURAS EM PEÇAS PRÉ-MOLDADAS

Nas estruturas de concreto pré-moldado, como nas estruturas de concreto convencional, é notável a presença de manifestações patológicas, em menores quantidades, porém não menos importantes, pois qualquer patologia pode provocar danos relevantes à construção (MOREIRA, 2009).

As fissuras (Figura 06) ocorrem nos pré-moldados basicamente por três fatores: cura mal executada, utilização de material de forma inconveniente na confecção do concreto, ou ainda decorrente do içamento da peça pré-moldada, a qual ainda não tem uma resistência suficiente. Essa falta de resistência é muitas vezes decorrente da necessidade de um içamento da peça de concreto que teve um tempo curto de cura (MOREIRA, 2009).



**Figura 06 - Fissuras na superfície do elemento pré-moldado
Adaptado de Milani (2013).**

A cura no concreto deve sempre manter a temperatura controlada, para que a água usada na hidratação do cimento não evapore. A água quando evaporada de forma excessiva dá origem a fissuras no concreto. Ações como o calor de hidratação não controlado, excesso de água na mistura do concreto, agregados como os seixos rolados (que não promovem uma ótima aderência entre o concreto e a pasta), contribuem com o aparecimento de trincas e fissuras, o que já pode comprometer a estrutura, quanto à resistência e durabilidade (MOREIRA, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de estudar o aumento da resistência do concreto em suas idades iniciais, para elementos estruturais pré-moldados, as seguintes etapas foram seguidas, conforme mostra a Figura 07:

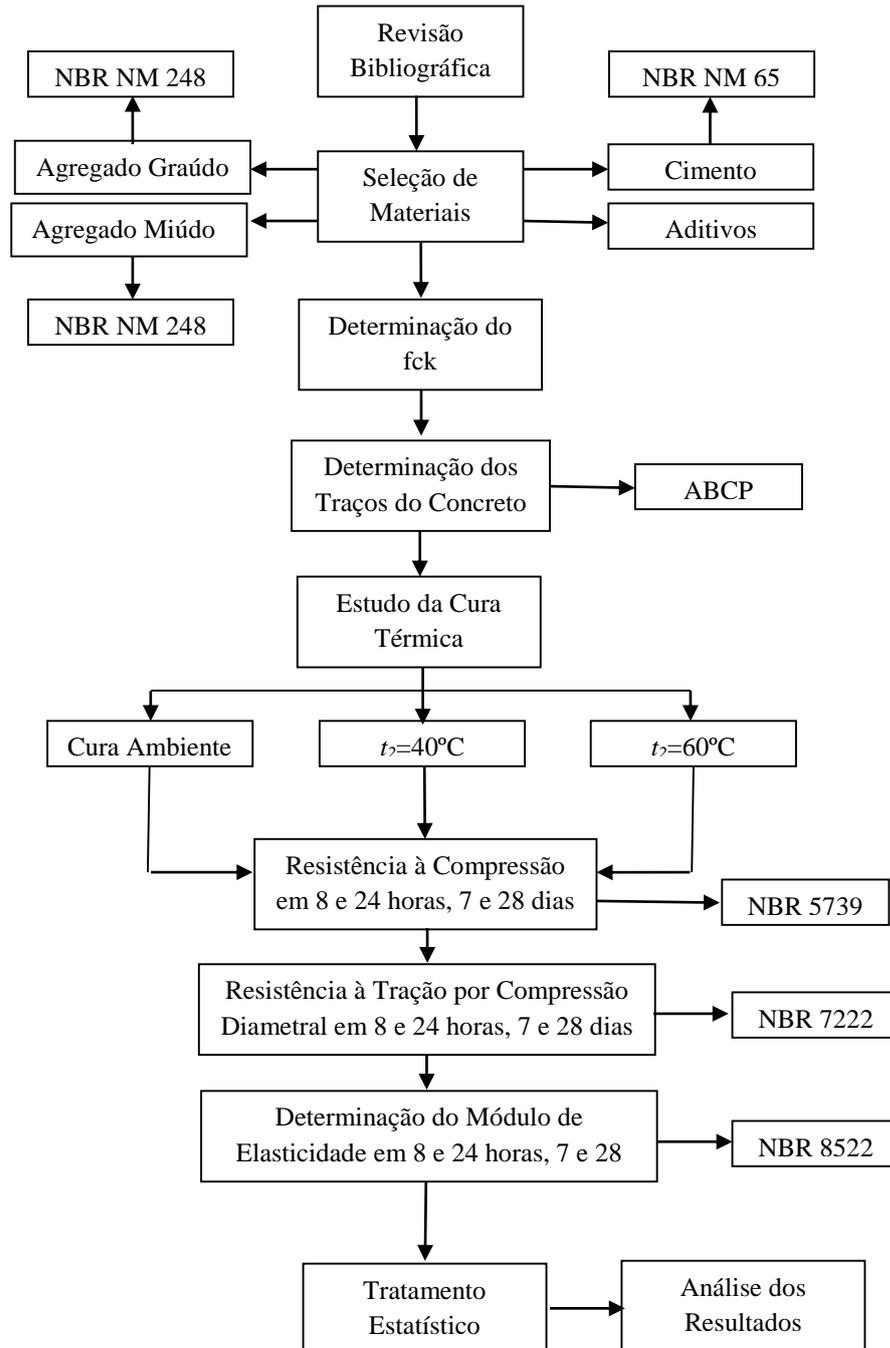


Figura 07 - Fluxograma das etapas da pesquisa
Fonte: Autores, 2014

O estudo inicialmente se baseou na caracterização dos agregados componentes do concreto. Posteriormente o f_{ck} foi determinado levando em consideração as resistências usuais de projetos estruturais da região do estudo em questão, para então ser determinado o traço do concreto através do método da ABCP. Tendo obtido o traço necessário para a resistência desejada, foi realizada a confecção de três betonadas de concreto. Uma para analisar a cura ambiente, uma para analisar a cura com patamar de 40°C e outra para o patamar de 60°C. Para cada tipo de cura foram realizados ensaios de compressão axial (NBR 5739), tração por compressão diametral (NBR 7222) e módulo de elasticidade (NBR 8522). Ao final, com a realização de todos os ensaios para os diferentes tipos de cura, os dados foram tratados estatisticamente, e assim foi possível analisar o comportamento da resistência nas idades iniciais para cada tipo de cura, bem como a influência da cura térmica nas características do concreto.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 CIMENTO

O cimento utilizado foi o CP-V ARI por apresentar alta resistência inicial e maior finura que outros cimentos. A Tabela 02 apresenta as características do cimento em questão:

Tabela 02 - Características CP-V ARI		
Tempo Início Pega (h)	Massa específica Aparente (g/cm ³)	Massa Específica Absoluta (g/cm ³)
1,0	1,5	3,1

Fonte: Itambé (2011).

3.1.2 ÁGUA

A água utilizada no estudo foi da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, a qual é proveniente do sistema de distribuição pública de água da concessionária local (SANEPAR). Conforme a NBR 15900 (ASSOCIAÇÃO..., 2009), este tipo de água pode ser utilizada sem restrição para concreto e argamassa.

3.1.3 AGREGADOS

3.1.3.1 AGREGADO MIÚDO

A caracterização do agregado miúdo (natural e artificial) utilizado no trabalho foi baseada na composição granulométrica, determinação do módulo de finura, massa específica teórica, massa unitária, percentual de material pulverulento e também a avaliação da curva granulométrica. O objetivo da caracterização do agregado é utilizar os valores para a determinação do traço do concreto pelo método da ABCP. A caracterização do agregado miúdo utilizado foi realizada de acordo com o disposto em norma, NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO..., 2003).

O Apêndice A apresenta o ensaio granulométrico da areia natural, com a quantidade de massa e porcentagem retida em cada peneira, a variação ocorrida entre as porcentagens retidas para assim verificar se é necessário realizar o ensaio novamente, e a média das porcentagens retidas das amostras, além da porcentagem retida acumulada.

A análise da granulometria utilizando curvas é uma maneira de avaliar e comparar as porcentagens retidas acumuladas para um agregado específico. Tal análise tem a finalidade de conhecer se o agregado em estudo está entre os limites estabelecidos por norma. A Figura 08 mostra a distribuição granulométrica da areia natural, comparada com os limites superior e inferior (zona utilizável) estabelecidos pela NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO..., 2003).

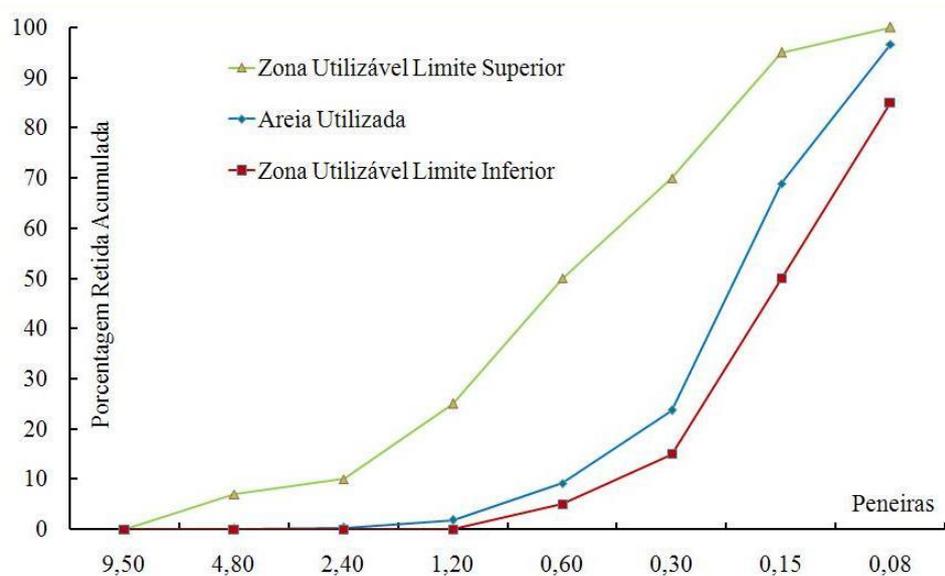


Figura 08 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural

Fonte: Autores, 2014

Com base nos valores referenciados, é possível ter os valores de dimensão máxima característica e módulo de finura para a areia em questão. A dimensão máxima característica é a peneira de maior dimensão que retenha uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5%, ou seja, para a presente areia a dimensão máxima característica é 1,20 mm. Já o módulo de finura representa a soma das porcentagens retidas acumuladas (das peneiras da série normal, com exceção do fundo) dividido por 100. Para este material tem-se que o módulo de finura é 2,00.

A determinação da quantidade de material pulverulento foi necessária, pois de acordo com a NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO...,2009), a quantidade de material pulverulento máximo presente no concreto é de 5,0%. O ensaio seguiu de acordo com o prescrito na NBR NM 46 (ASOCIAÇÃO...,2003), como mostra a Figura 09.



Figura 09 - Determinação do material pulverulento do agregado miúdo
Fonte: Autores, 2014

A Tabela 03 mostra a porcentagem de material pulverulento presente no agregado miúdo natural usado na pesquisa:

Tabela 03 - Porcentagem de material pulverulento no agregado miúdo natural

Amostra	m1 (g)	m2 (g)	% finos	% média finos
1	502,00	496,85	1,03	
2	503,50	497,80	1,13	1,08

Fonte: Autores, 2014.

Para a determinação da massa unitária foi utilizada a relação entre uma determinada massa, presente em um recipiente com um volume conhecido, como determina a NBR NM 46 (ASSOCIAÇÃO...,2003). A Tabela 04 apresenta os valores obtidos para o referente ensaio.

Tabela 04 - Valores da massa unitária da areia natural

Amostra	Massa (g)	Volume (cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)	Média (g/cm ³)
1	293,3	200	1,47	
2	900,35	600	1,50	1,50
3	415,23	272,11	1,53	

Fonte: Autores, 2014.

Para a determinação da massa específica aparente da areia, foi utilizado o método do picnômetro (FIGURA 10), o qual é um recipiente de vidro que possui uma rolha com um tubo capilar que quando repleto por líquido, apresenta um volume bem definido e preciso:



Figura 10 - Determinação da massa específica aparente através do método do picnômetro
Fonte: Autores, 2014

A Tabela 05 mostra os valores obtidos após a realização dos ensaios:

Tabela 05- Valores da massa específica aparente da areia natural

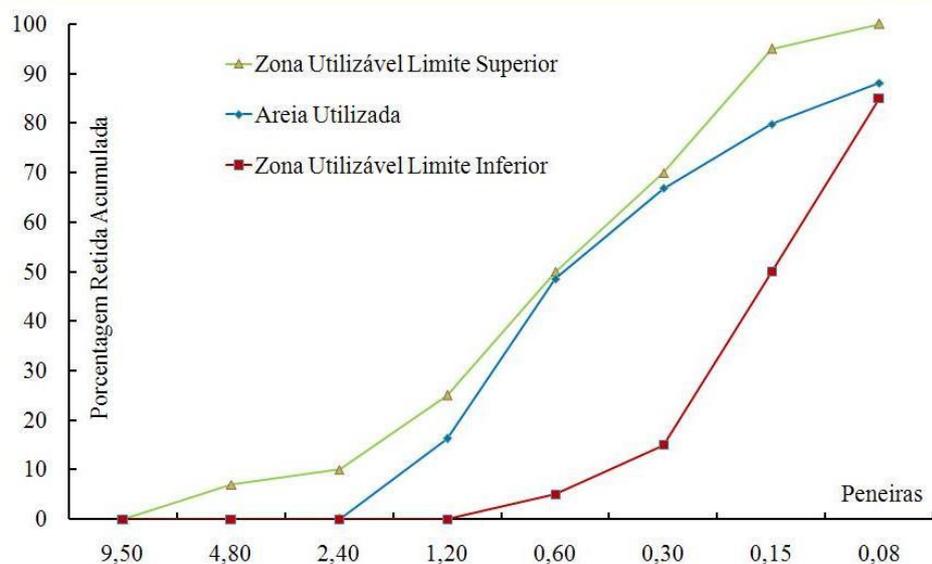
Amostra	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	Massa Específica Aparente (g/cm ³)	Média (g/cm ³)
1	51,16	612,87	645,22	2,72	
2	51,26	608,07	639,83	2,63	2,69
3	51,45	586,29	618,77	2,71	

Fonte: Autores, 2014.

Para o agregado miúdo artificial foram realizados todos os ensaios que foram realizados para o agregado miúdo natural, com os mesmos objetivos.

O Apêndice B mostra o ensaio granulométrico da areia artificial. A dimensão máxima característica para a presente areia é 2,40 mm, enquanto que seu módulo de finura é 3,00.

A Figura 11 mostra a distribuição granulométrica da areia artificial, comparada com os limites superior e inferior estabelecidos pela NBR NM 248(ASSOCIAÇÃO..., 2003).

**Figura11 - Curva granulométrica do agregado miúdo artificial**

Fonte: Autores, 2014

Novamente o ensaio seguiu de acordo com o prescrito na NBR NM 46 (ASSOCIAÇÃO...,2003), o qual resultou a Tabela 06:

Tabela 06 - Porcentagem de material pulverulento no agregado miúdo artificial

Amostra	m1	m2	% finos	% média finos
1	512,00	460,00	10,16	
2	505,50	452,50	10,48	10,32

Fonte: Autores, 2014.

A massa unitária do agregado miúdo artificial é mostrada através da Tabela 07:

Tabela 07 - Valores da massa unitária da areia artificial

Amostra	Massa (g)	Volume (cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)	Média (g/cm ³)
1	207,01	151,79	1,36	
2	381,40	274,47	1,39	1,43
3	480,45	311,55	1,54	

Fonte: Autores, 2014.

A massa específica aparente do agregado miúdo artificial é mostrada através da Tabela 08:

Tabela 08 - Valores da massa específica aparente da areia artificial

Amostra	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	Massa Específica Aparente (g/cm ³)	Média (g/cm ³)
1	50,9	614,01	647,26	2,88	
2	50,11	613,40	646,00	2,86	2,89
3	50,81	614,10	647,60	2,94	

Fonte: Autores, 2014.

A Tabela 09 apresenta todas as características anteriormente referenciadas da areia natural e da areia artificial:

Tabela 09 - Características areia natural e artificial

	Dimensão Máxima (mm)	Módulo Finura	Material Pulverulento (%)	Massa Unitária (g/cm ³)	Massa Aparente (g/cm ³)
Areia Natural	1,20	2,00	1,08	1,50	2,69
Areia Artificial	2,40	3,00	10,32	1,43	2,89

Fonte: Autores, 2014.

Devido ao fato do concreto em estudo ser confeccionado com dois tipos de agregados miúdos (natural e artificial) a proporção entre os mesmos foi definida levando-se em consideração a quantidade de material pulverulento presente em cada tipo de material conforme visto anteriormente. A NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO...,2009), referencia que o percentual de material pulverulento deve ser inferior a 5,0%, dessa forma sendo necessário 60% de areia natural (com teor de 1,08% de material pulverulento) e 40% de areia artificial (10,32%) totalizando assim um agregado miúdo com 4,78% de material pulverulento.

Assim, fazendo-se a proporção entre os agregados miúdos, foi obtido o Apêndice C e através do mesmo foi possível obter a Figura 12:

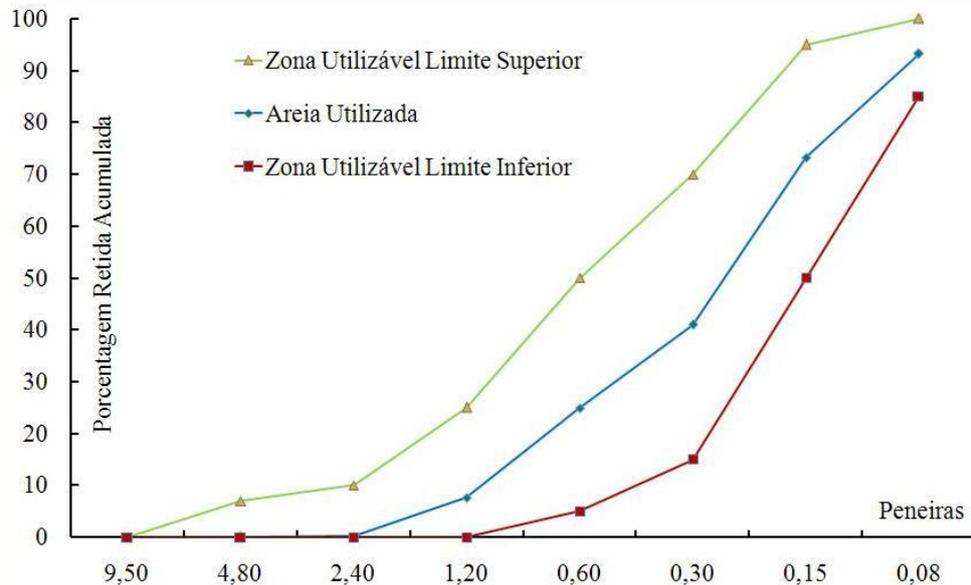


Figura 12 - Curva granulométrica do agregado miúdo composto
Fonte: Autores, 2014

Analisando a figura acima, pode-se notar que a composição de 60% de areia natural e 40% de areia artificial, está conforme, ou seja, encontra-se entre o limite superior e inferior da zona utilizável referenciada pela NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO..., 2003).

3.1.3.2 AGREGADO GRAÚDO

Analogamente aos ensaios granulométricos das areias natural e artificial, o Apêndice D apresenta o ensaio granulométrico da brita, com a quantidade de massa e porcentagem retida em cada peneira, a variação ocorrida entre as porcentagens retidas para verificar a necessidade de se realizar o ensaio novamente, e a média das porcentagens retidas das amostras, além da porcentagem retida acumulada.

Para a brita utilizada na pesquisa, a dimensão máxima característica (peneira que retenha uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5%) é de 25 mm. A mesma é classificada comercialmente como sendo brita 01 pela primeira peneira de retenção (19 mm) e pela peneira de retenção total (2,4 mm).

Assim como foi realizado para a areia, a determinação da massa unitária foi dada pela relação entre uma determinada massa, presente em um recipiente com um volume

conhecido, conforme NBR NM 46 (ASSOCIAÇÃO...,2003). A Tabela 10 apresenta os valores de massa unitária obtidos:

Amostra	Massa (g)	Volume (cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)	Média (g/cm ³)
1	1892,50	1193,50	1,59	
2	468,50	288,50	1,62	1,61
3	470,50	288,50	1,63	

Fonte: Autores, 2014.

Para a determinação da massa específica aparente da brita, foi utilizada uma proveta contendo determinado volume de água. Pesou-se uma amostra de brita e a mesma foi colocada na proveta. Dessa forma o volume deslocado foi o volume da própria brita. Assim com massa e volume conhecidos, determinou-se a massa específica aparente da brita, conforme mostra a Figura 13:



Figura 13 - Determinação da massa específica aparente da brita
Fonte: Autores, 2014

A Tabela 11 mostra os valores obtidos através do ensaio:

Tabela 11 - Valores da massa específica aparente da brita

Amostra	Massa (g)	Volume (cm ³)	Massa Específica Aparente (g/cm ³)	Média (g/cm ³)
1	52,19	18,00	2,90	
2	51,55	18,50	2,79	2,84
3	50,93	18,00	2,83	

Fonte: Autores, 2014.

3.2 MÉTODOS

A resistência característica do concreto foi determinada levando-se em consideração as especificações mínimas de norma e os valores usuais de projeto de estruturas pré-moldadas.

3.3 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DO CONCRETO (MÉTODO DA ABCP)

O concreto foi dosado segundo o Método da ABCP. Inicialmente determinou-se a resistência desejada do concreto (f_{ck}) como sendo 25 MPa em um prazo de 7 dias. Assim para obter f_{c07} foi utilizada a relação:

$$f_{c07} = f_{ck} + 1,65 \times S_d, \quad (03)$$

onde S_d é o desvio padrão (em MPa). Como o concreto será dosado em massa e os agregados secos em estufa antes da utilização, o valor de S_d será de 4. Tendo assim:

$$f_{c07} = 25 + 1,65 \times 4 = 31,6 \text{ MPa} \quad (04)$$

O método teve sequência definindo-se a relação água/cimento através da Curva de Abrams (ANEXO A). Para f_{c07} tem-se a relação:

$$f_{c07} = -42,428 \times \ln(a/c) + 9,5626, \quad (05)$$

$$31,6 = -42,428 \times \ln(a/c) + 9,5626, \quad (06)$$

$$a/c = 0,59. \quad (07)$$

Conhecendo-se também a dimensão máxima do agregado graúdo, a qual foi obtida através da análise granulométrica conforme 3.1.3.2 (25 mm), e o abatimento desejado, *slumptest*, pode-se chegar ao consumo de água através da Tabela 12:

Tabela 12 - Determinação aproximada do consumo de água

Consumo de Água Aproximado (l/m ³)					
Abatimento (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: ABCP, 2002.

O abatimento foi determinado levando em consideração a fluidez necessária para a concretagem de uma peça pré-moldada (80 a 100 mm pela maior facilidade). Dessa forma juntamente com o valor de $D_{máx} = 25 \text{ mm}$, tem-se um consumo de água (C_a) de 200 l/m^3 .

Através da relação entre consumo de água e a relação água/cimento chegou-se ao consumo de cimento conforme:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} = \frac{200}{0,59} = 338,98 \text{ kg/m}^3. \quad (08)$$

Conforme visto em 3.1.3.2, a dimensão máxima característica da brita é $D_{máx} = 25 \text{ mm}$, e conforme 3.1.3.1 o módulo de finura da areia é $MF = 2,0$. Para a determinação do consumo de agregado graúdo utilizou-se o ANEXO B, juntamente com os valores citados para encontrar o volume do agregado graúdo seco por m³ de concreto (V_b) = 0,775.

Assim o consumo de agregado graúdo (C_b) é dado por:

$$C_b = V_b \times MU, \quad (09)$$

onde MU é a massa unitária da brita conforme verificado em 3.1.3.2, resultam assim em:

$$C_b = 0,775 \times 1610 = 1247,75 \text{ kg/m}^3. \quad (10)$$

Para determinar o consumo de agregado miúdo foi necessário primeiramente determinar o volume de agregado miúdo (V_m) através de:

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right), \quad (11)$$

onde $\gamma_c, \gamma_b, \gamma_a$ são respectivamente as massa específicas aparentes do cimento (item 3.1.1), do agregado graúdo (item 3.1.3.2) e da água (item 3.1.2). Dessa forma pode-se chegar à:

$$V_m = 1 - \left(\frac{338,98}{3100} + \frac{1247,75}{2840} + \frac{200}{1000} \right) = 0,25. \quad (12)$$

Como referenciado anteriormente, a proporção de cada tipo de areia foi determinada em função da porcentagem de material pulverulento de cada uma. Assim foi possível determinar o consumo de agregado miúdo (C_m) conforme:

$$C_{mnat} = V_m \times \gamma_{mnat} \times 60\%, \quad (13)$$

$$C_{mart} = V_m \times \gamma_{mart} \times 40\%, \quad (14)$$

onde γ_{mnat} é a massa específica aparente da areia natural e γ_{mart} é a massa específica aparente da areia artificial (item 3.1.3.1). Assim chega-se à:

$$C_{mnat} = 0,25 \times 2690 \times 0,6 = 403,50 \text{ kg} / \text{m}^3, \quad (15)$$

$$C_{mart} = 0,25 \times 2890 \times 0,4 = 289,00 \text{ kg} / \text{m}^3. \quad (16)$$

O traço unitário em massa para o concreto em estudo foi dado através da relação entre a massa de cada material pela massa do cimento:

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{mat}}{C_c} : \frac{C_{mar}}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c}, \quad (17)$$

$$\frac{338,98}{338,98} : \frac{403,50}{338,98} : \frac{289,00}{338,98} : \frac{1247,75}{338,98} : \frac{200}{338,98}, \quad (18)$$

resultando em:

$$1 : 1,19 : 0,85 : 3,68 : 0,59. \quad (19)$$

Assim para escrever o traço segundo o modelo cimento: areia :brita: água (em massa), tem-se:

$$1 : 2,04 : 3,68 : 0,59 \quad (20)$$

Com posse do traço unitário dado em massa, o cálculo da quantidade de cada material é descrito a seguir.

3.3.1 PREPARO DO CONCRETO

A quantidade de concreto preparada foi determinada levando-se em consideração que seriam necessários três corpos-de-prova para o ensaio de resistência à compressão; três para o ensaio de tração por compressão diametral; e dois para o ensaio de módulo de elasticidade (total de 8 corpos-de-prova), conforme mostra fluxograma (item 3). Cada ensaio anteriormente citado foi repetido para as idades de 8 horas, 24 horas, 7 dias e 28 dias (4 repetições). Dessa forma foi necessária a confecção de 32 corpos-de-prova para cada tipo de cura estudada (sendo 3 tipos de cura, totalizando então 96 corpos-de-prova).

Cada corpo-de-prova (FIGURA 14) é de base circular com 10 *cm* de diâmetro, e altura de 20 *cm*, totalizando assim um volume de $1,57 \times 10^{-3} m^3$, ou seja, 1,57 *litros*. Dessa forma como foram necessários 32 corpos-de-prova, a quantidade de concreto necessária foi de

$5,03 \times 10^{-2} m^3$ (50,3 litros), sendo realizado assim 60 litros de concreto para o estudo de cada tipo de cura.



Figura 14 - Corpo-de-prova
Fonte: Autores, 2014

Os dois tipos de agregado miúdo foram secos em estufa antes da mistura e o agregado graúdo foi lavado (FIGURA 15). Houve a necessidade de lavar o agregado graúdo, pelo fato do mesmo apresentar uma grande quantidade de material pulverulento. O mesmo foi lavado 48 horas antes do preparo do concreto, e seco ao ambiente até o momento do preparo, não ficando assim totalmente seco.



Figura 15 -a) brita lavada; b) brita secando ao ambiente
Fonte: Autores, 2014

Para a quantidade de cada material foi utilizado o traço unitário dado em massa (EQUAÇÃO 19) tendo como base a quantidade de cimento. Como para o preparo de um metro cúbico de concreto necessita 338,98 kg, para 60 litros de concreto foram necessários 20,34 kg de cimento (para imprimação 1,7 kg). Assim, multiplicando-se a quantidade de cimento pelo traço para cada material tem a quantia de cada material, conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Quantia de material utilizado

	Cimento	Areia Nat.	Areia Art.	Brita	Água
Betonada	20,3	24,2	17,3	74,9	12,0
Imprimação	1,7	2,00	1,4	6,2	1,00

Fonte: Autores, 2014

Primeiramente foi dosado o concreto destinado para a análise da cura ambiente. O mesmo foi preparado em oito de outubro de dois mil e treze e apresentou um slump de 8,5 cm (dentro do estipulado, 8 a 10 cm). O segundo concreto foi realizado no dia dezoito de outubro de dois mil e treze, para o estudo da cura térmica com patamar de 40°C o qual apresentou um slump de 8,0 cm. E a última dosagem ocorreu no dia dois de novembro de dois mil e treze para a análise da cura térmica com patamar de 60°C, apresentado dessa vez um slump de 8,0 cm.

As três dosagens dos concretos foram realizadas sob as mesmas condições externas de tempo. As dosagens aconteceram no período da manhã, todas antes das 8 horas, sob condição climática estável (sem chuva). O tempo gasto entre a mistura da água e a moldagem dos corpos-de-prova das três dosagens foi de uma hora (antes de ser submetidos à cura térmica), o que acarreta em t_0 igual para todos.

3.4 CURA

3.4.1 CURA AMBIENTE

Após a moldagem dos corpos-de-prova, os mesmos foram curados em uma sala fechada com temperatura controlada. Para manter a umidade os mesmos foram colocados dentro de sacos plásticos com jornal umedecido. Dessa forma foi possível ter uma cura com temperatura e umidade constante. A Figura 16 representa as condições de cura:



Figura 16 - Ambiente utilizado para cura ambiente
Fonte: Autores, 2014

Observa-se que a porta que vedava completamente a sala, os sacos plásticos onde os corpos-de-prova eram colocados, e o aparelho de ar-condicionado o qual mantinha a temperatura da sala em 25° C. Após 8 horas foram retirados 8 corpos-de-prova para os ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade. O procedimento se repetiu para 24 horas, 7 dias e 28 dias.

3.4.2 CURA TÉRMICA

Para a cura térmica, o procedimento inicial foi moldar os 32 corpos-de-prova para posteriormente levá-los a uma estufa. Como especifica o ciclo térmico, é necessário manter a temperatura por determinado tempo (t_0) para posterior acréscimo (t_1). Na sequência tem-se o patamar (t_2) para então diminuir novamente a temperatura (t_3) e por último voltar à temperatura inicial (t_4).

O t_0 foi determinado em uma hora, por ser o tempo de início de pega do cimento utilizado. Como o tempo decorrido entre a mistura da água no concreto, até o término da moldagem dos corpos-de-prova foi de uma hora, logo após a moldagem os mesmos foram levados à estufa (FIGURA 17) onde sofreram o acréscimo de temperatura (t_1).



Figura 17 - Cura térmica em estufa
Fonte: Autores, 2014

Dentro da estufa, foi colocado um recipiente com água, e em cima dos corpos-de-prova foram colocados jornais umedecidos para que assim o concreto não perdesse umidade. Para o controle da temperatura foi colocado um termômetro na parte superior da estufa, e um termopar dentro da estufa conforme apresentado na figura acima.

A cada 15 minutos era feita a leitura no termômetro e anotado a temperatura que estava dentro da estufa. Após 6 horas dentro da estufa, os corpos-de-prova foram retirados para assim ter mais 1 hora antes dos ensaios referentes à idade de 8 horas.

Na sequência os corpos-de-prova foram colocados na mesma sala onde foi curado o concreto da cura ambiente, sob as mesmas condições, para que posteriormente fossem realizados os ensaios para as idades de 24 horas, 7 dias e 28 dias.

3.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O valor da resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) é um dado fundamental para qualquer projeto estrutural. Tal valor pode ser obtido através de ensaios de resistência à compressão axial, o qual utiliza corpos-de-prova cilíndricos de concreto para serem submetidos a uma carga de compressão axial.

Devido ao fato desses corpos-de-prova terem suas superfícies irregulares (FIGURA 18), houve a necessidade da regularização das mesmas, a qual foi realizada utilizando-se de discos de neoprene.



Figura 18 - Superfície irregular dos corpos-de-prova
Fonte: Autores, 2014

A determinação da resistência à compressão foi baseada na NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO..., 2007). O resultado foi expresso dividindo-se a carga de ruptura pela seção transversal do corpo de prova. A Figura 19 mostra as prensas as quais os corpos de prova foram submetidos para o ensaio de resistência à compressão:



Figura 19 – Prensa para ensaio de resistência à compressão
Fonte: Autores, 2014.

A Figura 19 apresenta as duas prensas. A da direita é uma prensa manual que aplica uma carga de até 120 toneladas, enquanto que a da esquerda é automática e aplica uma carga de até 30 toneladas. Para os corpos-de-prova com idade de 8 horas foi utilizada a prensa da

esquerda, a qual possui uma precisão maior. Para os demais, utilizou-se a prensa da direita pela sua maior capacidade de aplicação de carga.

3.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Assim como para a determinação da resistência à compressão, para a determinação da resistência à tração foram moldados corpos-de-prova cilíndricos. A resistência à tração pode ser determinada por diferentes métodos, como o ensaio de tração direta, o ensaio de tração na flexão, e o ensaio de tração na compressão diametral, o qual é mais comumente utilizado (PINHEIRO ET AL, 2004).

Para a presente pesquisa foi utilizado o método de tração na compressão diametral, o qual foi regido segundo a NBR 7222 (ASSOCIAÇÃO..., 2010). Para o presente ensaio é aplicada uma carga até sua ruptura por tração indireta (ruptura por fendilhamento). O corpo de prova foi colocado de modo que ficou em repouso ao longo de uma geratriz, sobre uma chapa da máquina de compressão, Posteriormente, as chapas da máquina foram ajustadas até que se teve uma compressão capaz de manter em posição o copo de prova. A carga foi aplicada continuamente, sem que houvesse choque, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de 0,05 MPa/s (mais ou menos 0,02 MPa), até a ruptura do corpo de prova. A Figura 20 demonstra o esquema entre corpo de prova, e as chapas ajustadas na máquina:



Figura 20 – Ensaio de tração por compressão diametral
Fonte: Autores, 2014.

3.7 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

Outra propriedade do concreto que é importante se ter conhecimento é o módulo de elasticidade (necessidade da determinação das deformações nas estruturas). A Lei de Hooke define que a relação entre a tensão e a deformação específica é conhecida como sendo o módulo de elasticidade. Dessa forma, para obter o valor do módulo de elasticidade foram ensaiados corpos-de-prova cilíndricos (iguais aos dos ensaios de compressão e tração) os quais eram submetidos a cargas enquanto que sua deformação era lida simultaneamente. O ensaio foi seguido conforme NBR 8522 (ASSOCIAÇÃO..., 2008) conforme mostra a Figura 21:



Figura 21 – Ensaio de módulo de elasticidade
Fonte: Autores, 2014.

Depois de posicionado o corpo-de-prova, aplicou-se o carregamento e aumentou a deformação específica, até que a tensão alcançada foi de 30% da resistência à compressão do concreto (σ_b). Tal nível de tensão foi mantido por 60 segundos.

Posteriormente foi reduzida a carga à mesma velocidade do processo de carregamento até uma força próxima de zero e em seguida foi carregado o corpo até o nível da tensão básica (σ_a). Foram realizados mais dois ciclos de pré-carga adicionais, obedecendo às mesmas velocidades de carga e descarga e mantidas as tensões extremas (σ_a e σ_b) constantes, alternadas durante períodos de 60 segundos cada. Depois de realizado o último ciclo de pré-

carga e do período de 60 segundos sob a tensão σ_a , foram registradas as deformações específicas lidas (ζ_a).

Na sequência foi carregado novamente o corpo de prova com a tensão σ_b à velocidade especificada e então foram anotadas as deformações lidas, ζ_b , após uma espera de 60 segundos, conforme mostra a Figura 22:

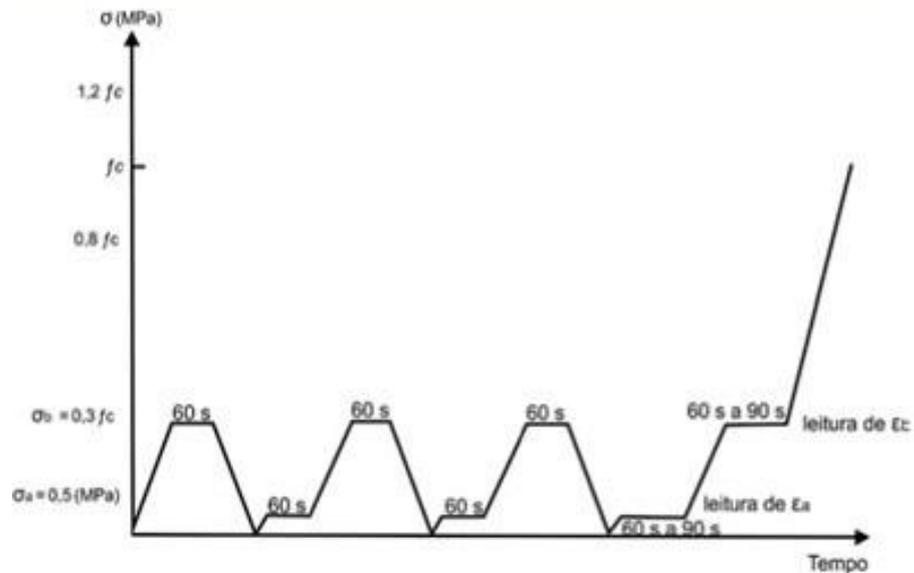


Figura 22 - Carregamento para a determinação do módulo de Elasticidade
Fonte: NBR 8522, 2008.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram tratados estatisticamente, através da análise de variância (ANOVA) para a verificação dos efeitos significativos em um nível de 95% de confiança, além do teste de comparações múltiplas de médias (Teste de Tukey), para verificação de quais médias apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados com a realização dos ensaios descritos anteriormente seguem abaixo.

4.1 CURA TÉRMICA

Como descrito anteriormente, para a cura térmica buscou-se seguir o prescrito na NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO..., 2006), ou seja, buscou-se um t_0 (tempo de pega do cimento), t_1 (elevação da temperatura), t_2 (patamar com a temperatura máxima), t_3 (resfriamento) e t_4 (retornar à temperatura ambiente).

Devido ao fato dessa variação de temperatura ter sido fornecida por uma estufa sem ventilação, certas restrições foram notadas, como não conseguir um patamar justamente pela falta de ventilação e assim não conseguir manter uma temperatura constante. A dificuldade também em ter um acréscimo constante da temperatura ou ainda esse tempo (t_1) ser mais demorado que o previsto, pela baixa potência da estufa.

Para o acompanhamento da temperatura dentro da estufa, utilizou-se um termômetro, sendo que a Figura 23 mostra como se comportou a cura térmica para $t_2=40^\circ$

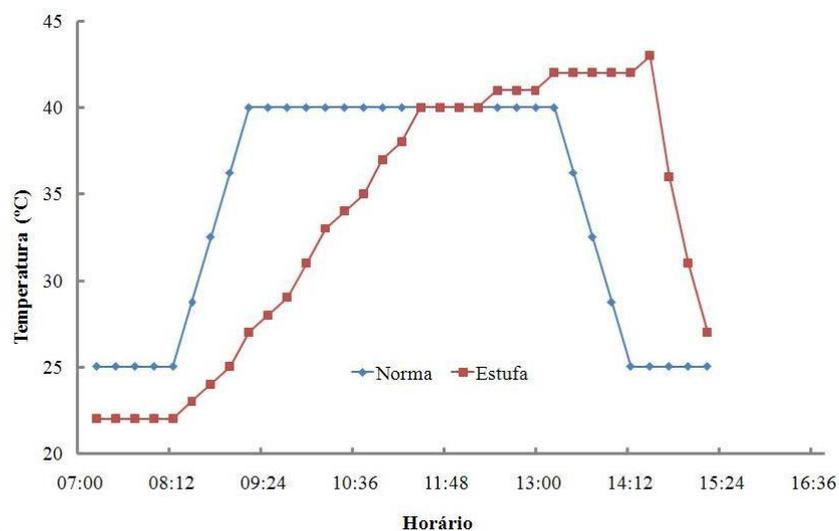


Figura 23 - Ciclo térmico com temperatura máxima de 40°C
Fonte: Autores, 2014.

Como mostra a Figura 23, o patamar não se manteve constante como deveria, a temperatura ultrapassou os 40° C em 2° C e também não foi possível expor o concreto à t_4 (temperatura ambiente após resfriamento do concreto, por já ter ultrapassado as 8 horas).

Devido ao fato da estufa ter suas resistências na parte inferior, houve diferença de temperatura para os corpos-de-prova sendo que 16 ficaram na parte superior e 16 na parte inferior (razão pela diferença de temperatura). Como o termômetro ficou na parte superior da estufa e a temperatura foi controlada pelo mesmo, os corpos de prova da parte de baixo da estufa foram submetidos a uma temperatura ligeiramente superior. A Figura 24 mostra a diferença dos corpos-de-prova após as 8 horas de cura para o patamar de 40° C:



Figura 24 - Diferença de coloração entre corpos-de-prova
Fonte: Autores, 2014

Através da imagem, pode-se perceber que o corpo-de-prova da direita (que estava na parte inferior da estufa) realmente foi submetido a uma temperatura maior, pois possui uma coloração mais clara. Para o rompimento da idade de 8 horas foram utilizados os corpos-de-prova da parte inferior da estufa.

Para a cura térmica com patamar de 60° C o processo foi o mesmo, com a diferença que além da leitura do termômetro, teve a leitura do termopar.

A partir da leitura do termopar, juntamente com a leitura manual do termômetro, fazendo um comparativo com o descrito em norma, foi possível chegar a Figura 25:

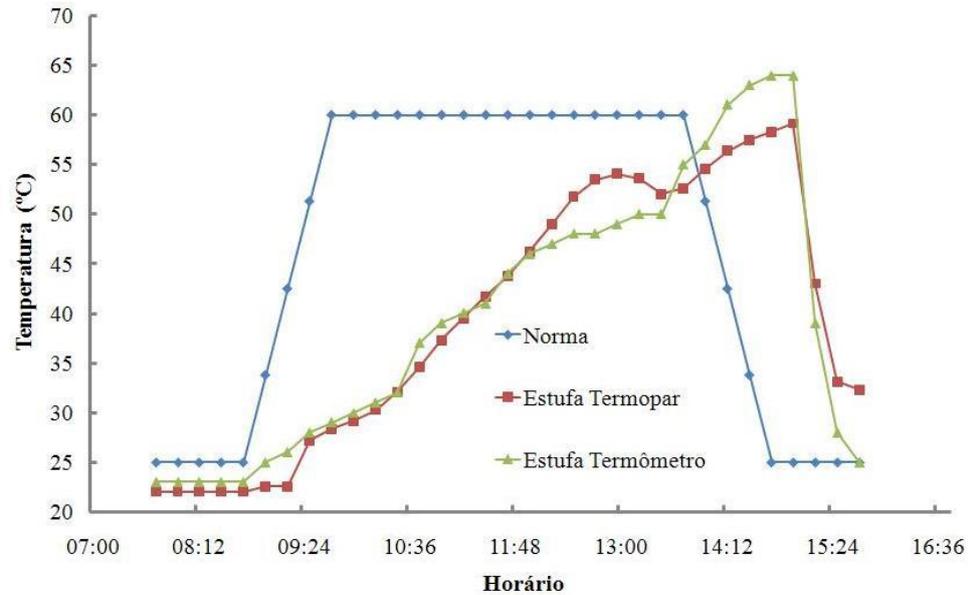


Figura 25 - Ciclo térmico com temperatura máxima de 60°C

Fonte: Autores, 2014.

Pode-se perceber que houve uma pequena diferença nas leituras entre o termômetro e o termopar, que pode ser explicada pelo fato do termopar fazer sua leitura, corrigida em função da umidade presente no ambiente, e ainda também, pelo fato do termômetro ser tirado rapidamente para uma leitura manual. A maior diferença de leitura foi de 5,7° C, sendo que a mesma foi anotada para a maior temperatura registrada para leitura do termômetro (64° C). A maior temperatura marcada no termopar foi de 59,1° C.

Para o patamar de 60° C foi constatado que não houve diferenciação na coloração entre os corpos-de-prova da parte superior com os da parte inferior da estufa, conforme mostra a Figura 26:



Figura 26 - Pouca diferença de coloração entre corpos-de-prova

Fonte: Autores, 2014

Mesmo havendo pouca diferença na coloração (direita referente à parte inferior da estufa), foram rompidos para a idade de 8 horas os corpos-de-prova da parte inferior da estufa, para que assim fosse seguido o mesmo procedimento da cura com patamar em 40° C. Novamente os corpos-de-prova restantes foram armazenados na mesma sala onde foi curado o concreto da cura ambiente para os ensaios das idades posteriores.

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Após ter recebido a cura conforme referenciado anteriormente, os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão axial, sendo 12 amostras para cada tipo de cura, e dessas 12, um total de 3 para cada idade, conforme mostra o Apêndice E.

Para a idade de 8 horas, referente à cura ambiente, não se tem valores, pois quando os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio, a prensa não aplicou carga, devido ao fato de estarem sem uma resistência mínima adequada, ou seja, o concreto não foi curado o suficiente, de modo que tornasse o mesmo inapto ao ensaio, assim resultando em uma resistência à compressão axial nula.

Com relação aos demais resultados, foram calculados através da relação entre a carga e a seção transversal do corpo-de-prova, sendo o resultado expresso em MPa (N/mm²). O f_{c07} foi calculado para 31,6 MPa e pode-se observar que para todos os ensaios a resistência foi inferior (27,7 MPa a 29,5 MPa). Tal fato pode ser explicado devido à brita que foi lavada 48 horas antes da mistura do concreto, e não seca em estufa; dessa forma a quantidade de água no concreto foi maior que o calculado, aumentando assim a relação água/cimento e consequentemente diminuindo a resistência.

A partir do Apêndice E pode-se chegar à Figura 27 que mostra o comportamento da resistência do concreto para cada tipo de cura, no decorrer do tempo:

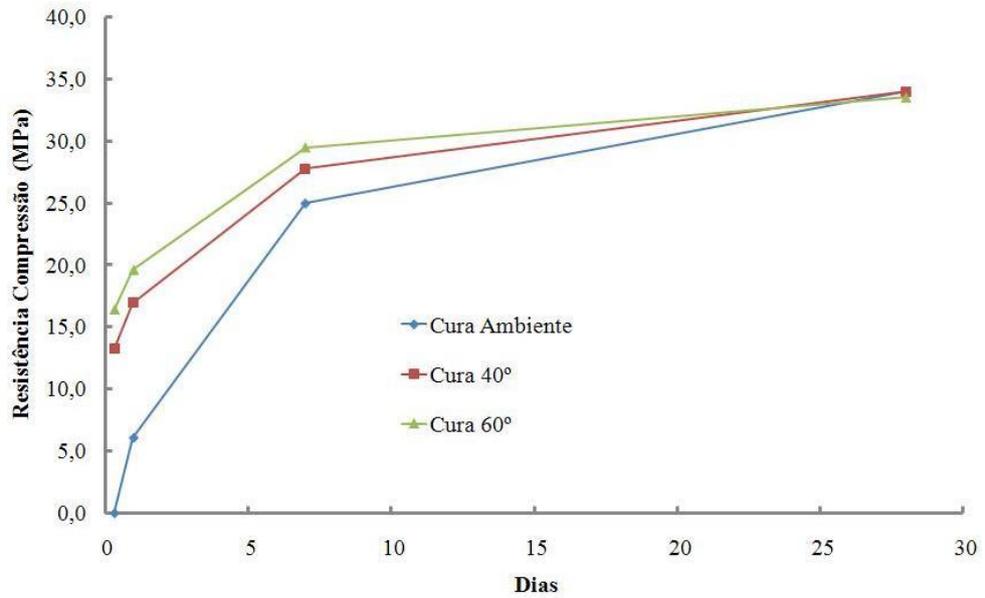


Figura 27 - Comparação resistência à compressão axial
Fonte: Autores, 2014.

Como descrito em 3.8, realizou-se o teste de variância (ANOVA) para todas as idades, que estão apresentados no Apêndice F. A Tabela 14 mostra o teste de comparações múltiplas de médias (Teste de Tukey) para a idade de 8 horas.

	23°	40°	60°
Resistência Média (MPa)	0,0	13,2	16,4
	a	b	b

Fonte: Autores, 2014.

A tabela 14 mostra que as curas com patamar a 40°C e 60°C não diferem entre si, enquanto que as mesmas tem diferença significativas quando comparadas com a cura ambiente. Essa semelhança e diferença entre as curas, pode ser visualizada mais facilmente conforme mostra a Figura 28:

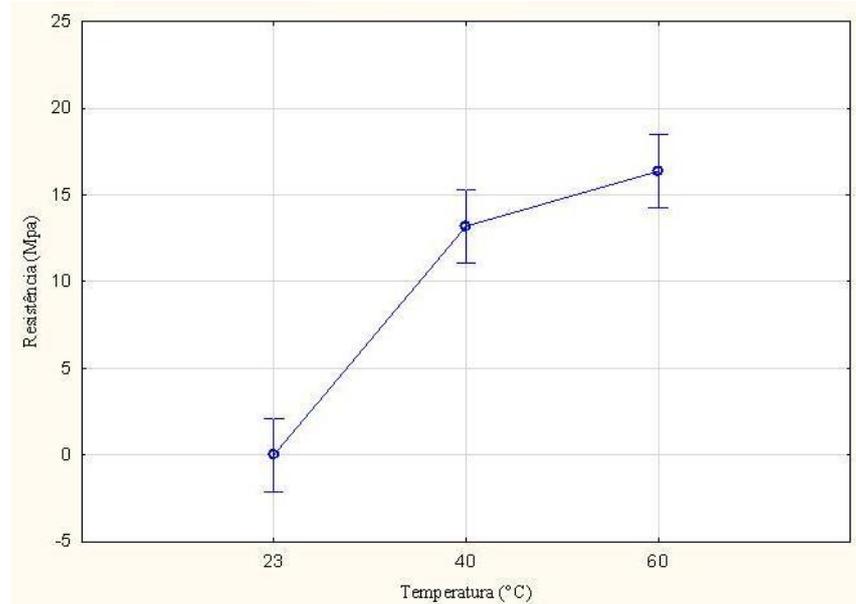


Figura 28 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à compressão para 8 horas
Fonte: Autores, 2014.

A Tabela 15 apresenta o Teste de Tukey (teste de comparações múltiplas de médias) para a idade de 24 horas.

Tabela 15 – Teste de Tukey para resistência à compressão em 24 horas

	23°	40°	60°
Resistência Média (MPa)	9,3	16,9	19,6
	a	b	b

Fonte: Autores, 2014.

Assim como para a idade de 8 horas, a resistência à compressão para a idade de 24 horas se comportou da mesma forma, ou seja, sem diferença significativa entre as curas com patamar a 40°C e 60°C, e com diferença quando ambas foram comparadas com a cura ambiente. A Figura 29 representa visualmente essas diferenças e semelhanças apontadas na Tabela 15:

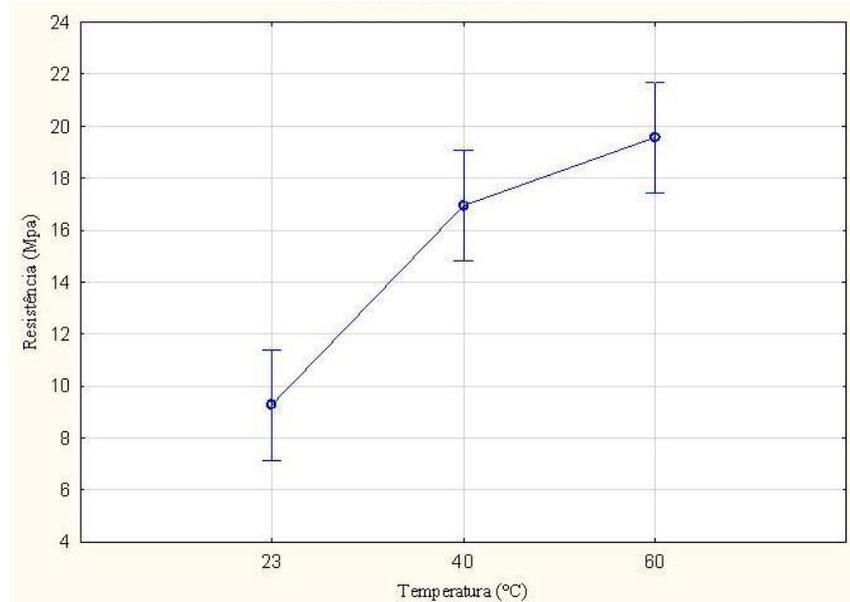


Figura 29 - Intervalo de confiança de 95% para resistência à compressão para 24 horas
Fonte: Autores, 2014.

Já para a idade de 7 dias, não houve diferença significativa entre os resultados, como mostra a Figura 30:

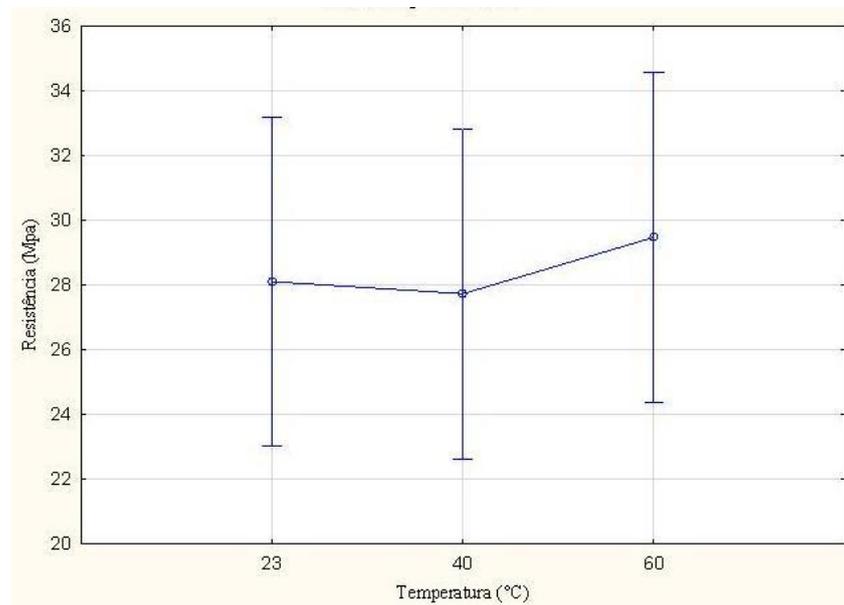


Figura 30 - Intervalo de confiança de 95% para resistência à compressão para 7 dias
Fonte: Autores, 2014.

Para a idade de 28 dias, o comportamento foi igual à idade de 7 dias, ou seja, sem diferença significativa entre os resultados (Figura 31):

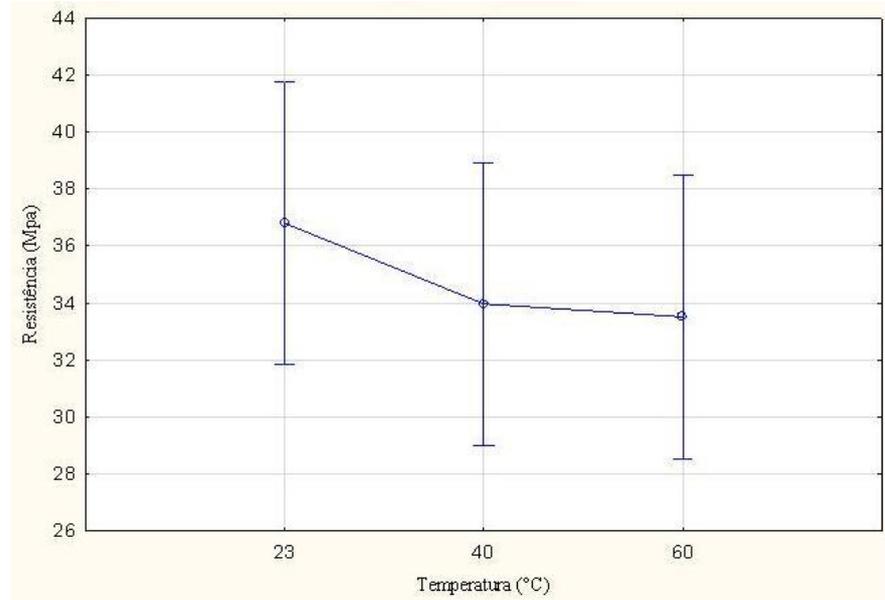


Figura 31 - Intervalo de confiança de 95% para resistência à compressão para 28 dias
Fonte: Autores, 2014.

Dessa forma, é notável a maior diferença de resistência nas primeiras idades do concreto (8 horas), considerando que para a cura ambiente o mesmo obteve uma carga nula, enquanto que para a cura térmica com patamar de 40° C já teve um ganho de 13,2 MPa. Já para a cura térmica com 60° C de patamar, a diferença foi de 16,4 MPa. Esse aumento de resistência tem representatividade na indústria de pré-moldado, pois conforme Debs (2000), uma resistência adequada para o içamento das peças é de 15,0 MPa.

Essa diferença vai reduzindo com o passar do tempo, até que para a idade de 7 e 28 dias, é praticamente desprezível. Assim, a cura térmica mostra-se eficaz na aceleração da resistência inicial do concreto, possibilitando que o mesmo possa ser içado em fábricas de pré-moldados em um curto espaço de tempo, sem que haja a necessidade de super dimensionar a resistência final de um concreto para obter uma resistência inicial mínima necessária.

4.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Assim como para o ensaio de resistência à compressão, para a determinação da resistência à tração foram ensaiados 12 corpos-de-prova para cada tipo de cura (totalizando 36 cp's), sendo que desses 12, eram utilizados 3 para cada idade, como pode ser observado no Apêndice G.

Assim como a resistência à compressão, para a resistência à tração não foi possível realizar o ensaio para a idade de 8 horas da cura ambiente, pelos mesmos motivos citados

anteriormente. Outro quesito que se manteve, foi à maior diferença de resistência na idade de 8 horas, com a redução dessa diferença para as idades mais avançadas (24 horas e 7 dias), porém mostrando novamente uma diferença ligeiramente maior aos 28 dias.

Para a resistência à compressão, os dois ensaios de cura térmica mostravam resultados mais satisfatórios nas idades iniciais, sendo que para os 28 dias a diferença é praticamente nula. Para o ensaio de tração porém, a cura ambiente se mostrou mais efetiva na idade de 28 dias, com pouca diferença para 7 dias, e para as idades iniciais a cura térmica foi mais eficiente como apresenta a Figura 32.

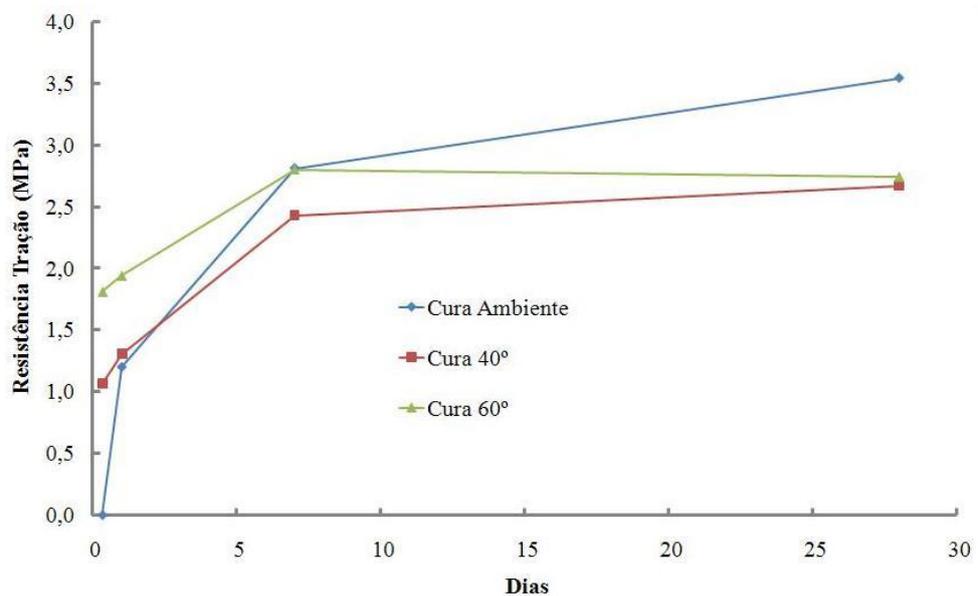


Figura 32 -Comparação resistência à tração por compressão diametral
Fonte: Autores, 2014.

Seguindo conforme a análise dos resultados dos testes de resistência à compressão, realizou-se o teste de variância (ANOVA) para todas as idades, que estão apresentados no Apêndice H. A Tabela 16 mostra o teste de comparações múltiplas de médias (Teste de Tukey) para a idade de 8 horas.

	23°	40°	60°
Resistência Média (MPa)	0,0	1,1	1,8
	a	b	b

Fonte: Autores, 2014.

Da mesma forma que o ensaio de resistência à compressão com 8 horas de idade, os resultados do ensaio da resistência à tração apresentaram diferença significativa quando

comparadas as curas com patamar de 40°C e 60°C com a cura ambiente, conforme pode ser visto na Figura 33:

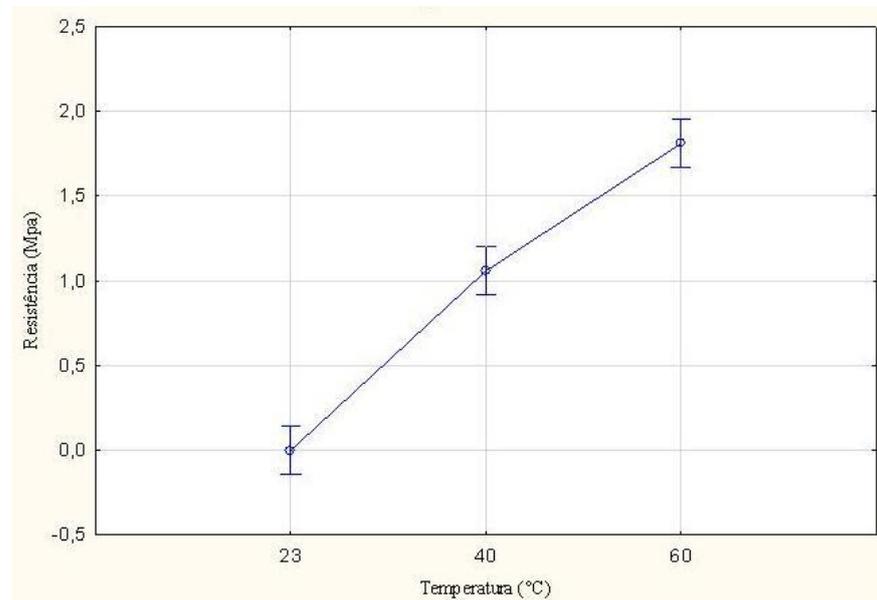


Figura 33 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à tração para 8 horas
Fonte: Autores, 2014.

A Tabela 17 apresenta o Teste de Tukey para os valores correspondentes ao ensaio de resistência à tração com 24 horas de idade:

Tabela 17 - Teste de Tukey para resistência à tração em 24 horas

	23°	40°	60°
Resistência Média (MPa)	1,2	1,3	1,9
	a	a	b

Fonte: Autores, 2014.

Pode-se observar que dessa vez, não há diferença significativa quando comparado a cura com patamar de 40°C e a cura ambiente, porém quando ambas são comparadas com a cura de patamar de 60°C, essa diferença se torna então significativa, conforme mostra a Figura 34:

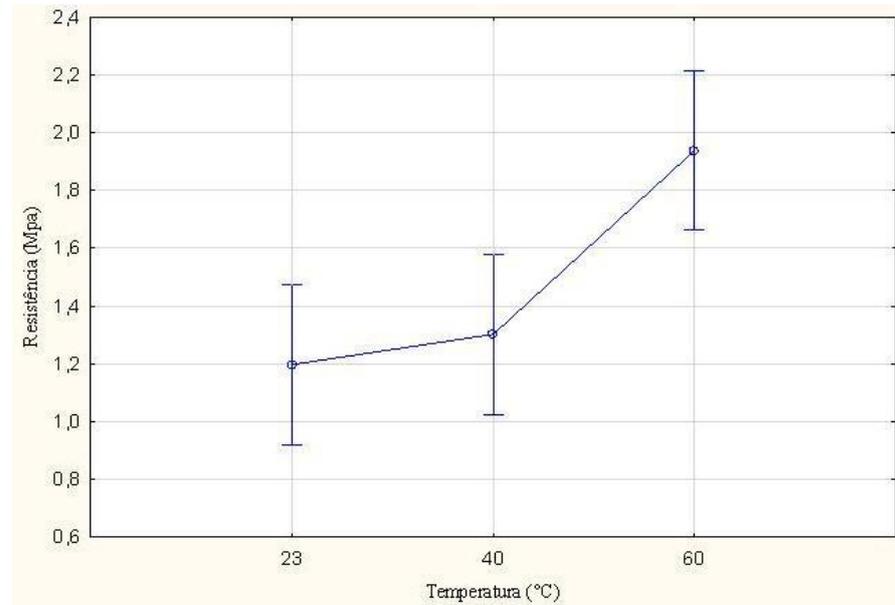


Figura 34 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à tração para 24 horas
Fonte: Autores, 2014.

A Tabela 18 apresenta o Teste de Tukey para a idade de 7 dias:

Tabela 18 - Teste de Tukey para resistência à tração em 7 dias

	23°	40°	60°
Resistência Média (MPa)	2,9	2,4	2,8
	a	b	ab

Fonte: Autores, 2014.

A Figura 35 representa visualmente os valores da Tabela 18:

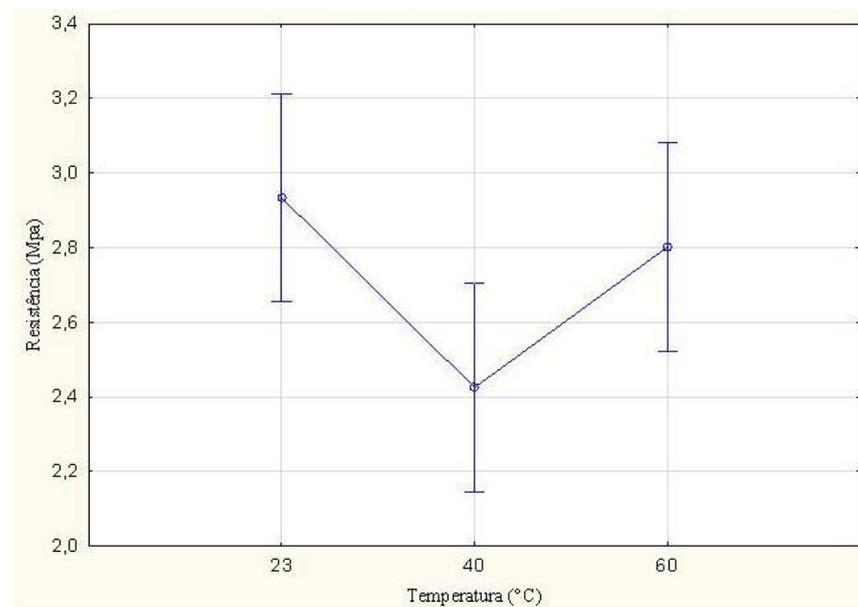


Figura 35 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à tração para 7 dias
Fonte: Autores, 2014.

Conforme pode ser observado na Tabela 18 e na Figura 35, não houve acréscimo nem decréscimo de resistência seguindo a ordem de cura ambiente, cura com patamar a 40°C e a 60°C. O que pode constatar é que houve diferença significativa entre os dois primeiros tipos de cura, e que ambas quando comparadas com a cura de patamar de 60°C, não apresentam tal diferença.

A Tabela 19 apresenta o Teste de Tukey para a idade de 28 dias:

	23°	40°	60°
Resistência Média (MPa)	3,5	2,7	2,7
	a	b	b

Fonte: Autores, 2014.

Dessa vez é notado um decréscimo de resistência com o aumento de temperatura para a cura, conforme pode ser visto na Figura 36:

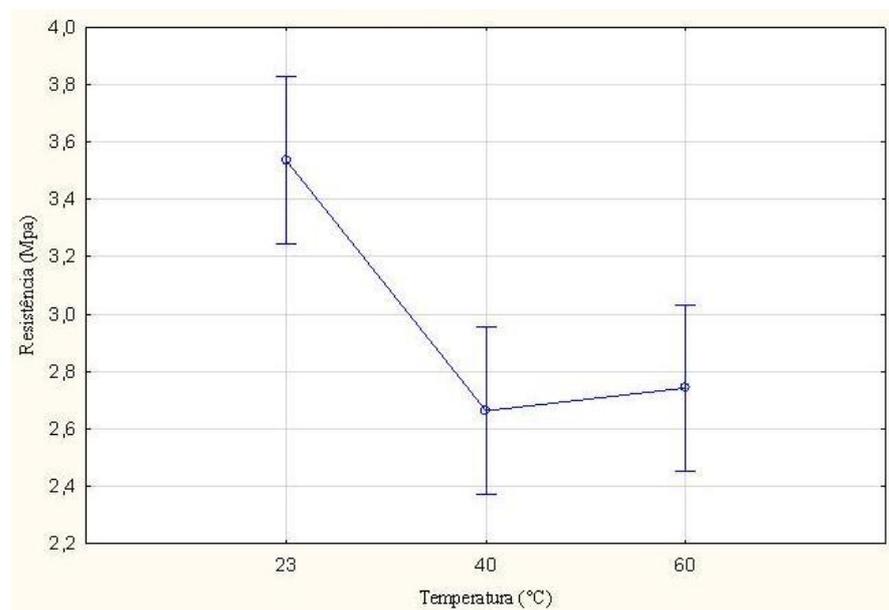


Figura 36 – Intervalo de confiança de 95% para resistência à tração para 28 dias
Fonte: Autores, 2014.

Assim, pode-se perceber que para a resistência à tração, a cura térmica influenciou negativamente a resistência em 28 dias.

A resistência à tração do concreto é cerca de 10% a 11% para concretos com baixas resistências, 8% a 9% para concretos com média resistência e aproximadamente 7% para concretos com altas resistências (NEVILLE; BROOKS, 2003).

Como visto no Apêndice E a resistência média à compressão do concreto variou de 9,3 MPa a 36,8 MPa. Dessa forma, considerando de 8% a 9% das resistências à compressão citadas (o concreto do estudo em questão é de média resistência), obtêm-se valores de 0,7 MPa a 2,9 MPa (para 8% da resistência à compressão), e 0,8 MPa a 3,3 MPa (para 9% da resistência).

Conforme observado no Apêndice F os valores obtidos no ensaio para determinação da resistência à tração por compressão diametral, varia de 1,1 MPa a 3,5 MPa, ou seja, valores próximos aos referenciados anteriormente, mostrando assim válida a relação estabelecida.

4.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Diferentemente dos ensaios de compressão e tração, para a determinação do módulo de elasticidade, foram ensaiados 8 corpos-de-prova para cada tipo de cura (para que dessa forma coubessem todos os corpos-de-prova dentro da estufa), sendo que eram utilizados 2 para cada idade, conforme mostra o Apêndice I.

Como citado para o ensaio de compressão e tração, novamente não foi possível realizar o ensaio para a idade de 8 horas da cura ambiente, pelo fato de não ter uma resistência à compressão, a qual é necessária por ser um dado de entrada para a execução do ensaio.

Novamente, a idade de 8 horas mostrou valores bem diferentes comparando cura térmica com a cura ambiente (considerando que o valor da cura ambiente é nulo). Outro fator que se manteve também, foi que com o passar do tempo essa diferença diminuiu, como mostra a Figura 37:

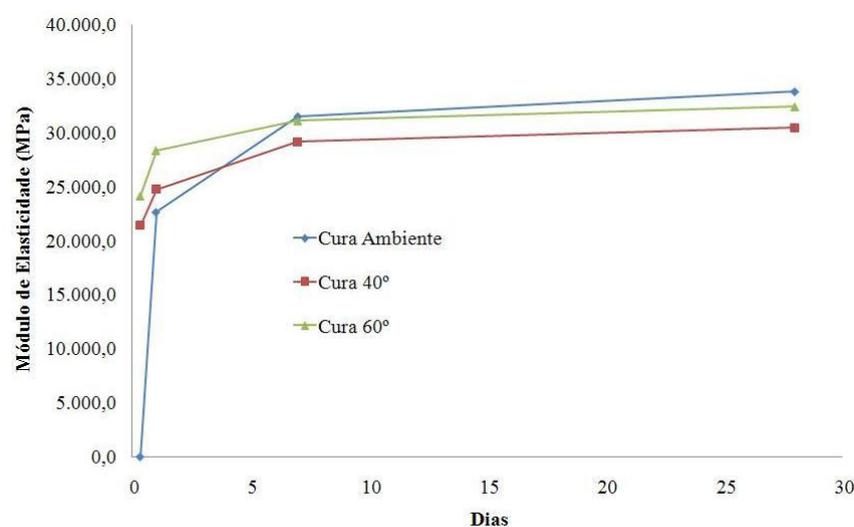


Figura 37 - Comparação módulo de elasticidade
Fonte: Autores, 2014.

Da mesma maneira conforme o ensaio de resistência à compressão e à tração, realizou-se o teste de variância (ANOVA) para todas as idades, que estão apresentados no Apêndice J. A Tabela 20 mostra o teste de comparações múltiplas de médias (Teste de Tukey) para a idade de 8 horas.

Tabela 20 - Teste de Tukey para módulo de elasticidade em 8 horas

	23°	40°	60°
Módulo Elasticidade Médio (MPa)	0,0	21388,1	19926,4
	a	b	b

Fonte: Autores, 2014.

Novamente devido ao fato da cura ambiente com idade de 8 horas ter valores nulos, a mesma apresentou diferença significativa quando comparada com as demais curas, como mostra a Figura 38:

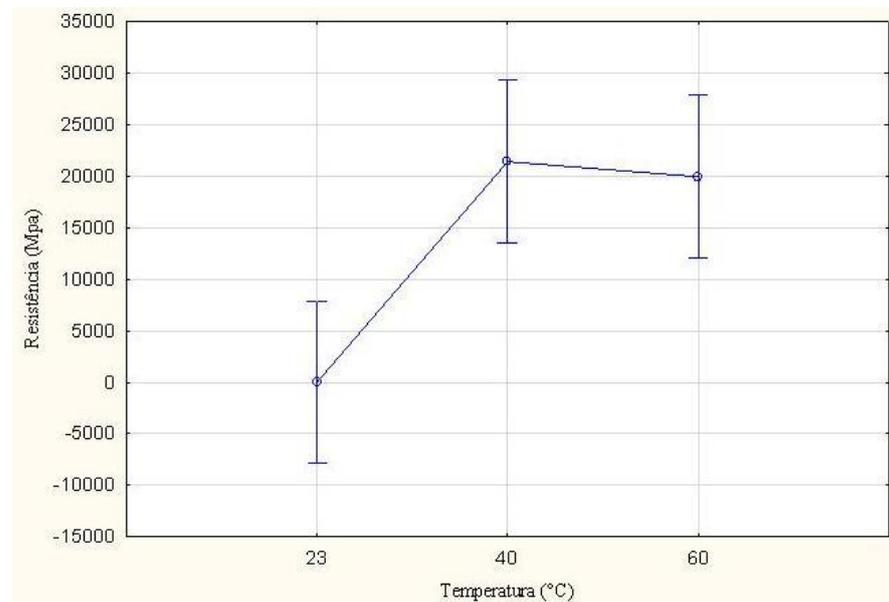


Figura 38 – Intervalo de confiança de 95% para módulo de elasticidade para 8 horas
Fonte: Autores, 2014.

Tanto para o ensaio de resistência à compressão quanto o ensaio de resistência à tração, para a idade de 24 horas, havia diferença significativa entre a cura térmica e a cura ambiente. Porém o mesmo não ocorre para o ensaio de módulo de elasticidade. Para tal ensaio, a diferença dos resultados não é significativa, conforme mostra a Figura 39:

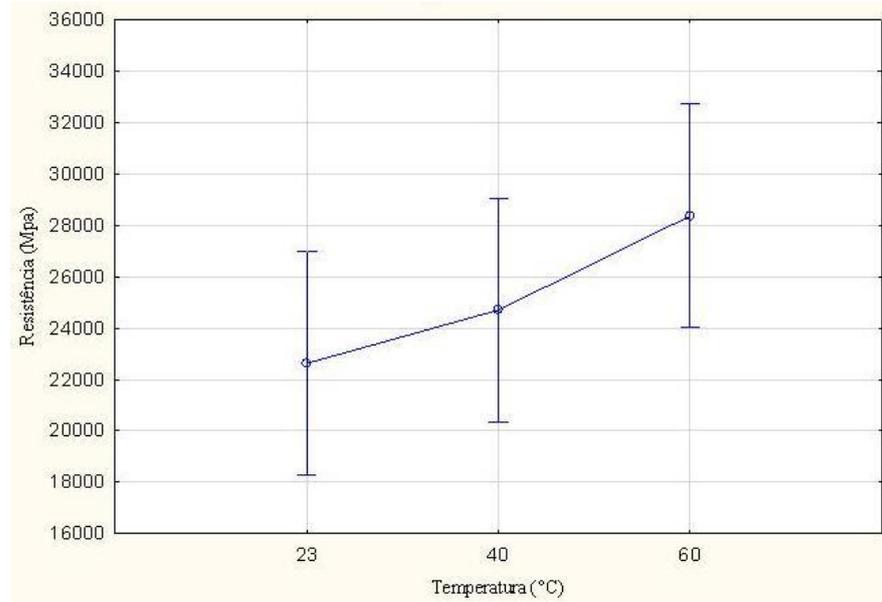


Figura 39 – Intervalo de confiança de 95% para módulo de elasticidade para 24 horas
Fonte: Autores, 2014.

A Figura 40, mostra que para a idade de 7 dias, os valores de módulo de elasticidade para os diferentes tipos de cura, não apresentam diferença significativa:

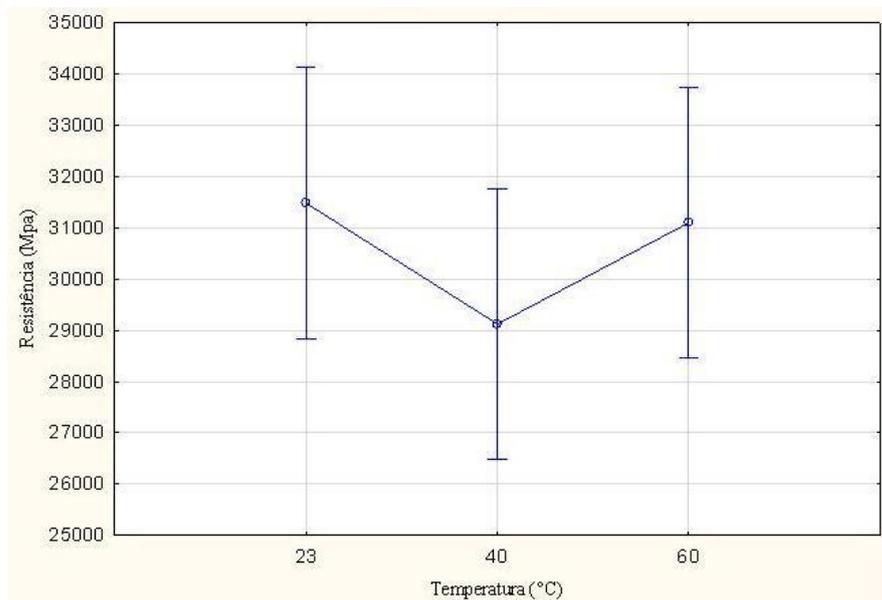


Figura 40 – Intervalo de confiança de 95% para módulo de elasticidade para 7 dias
Fonte: Autores, 2014.

O mesmo ocorre para a idade de 28 dias, sem diferenças significativas para os diferentes tipos de cura, conforme mostra a Figura 41:

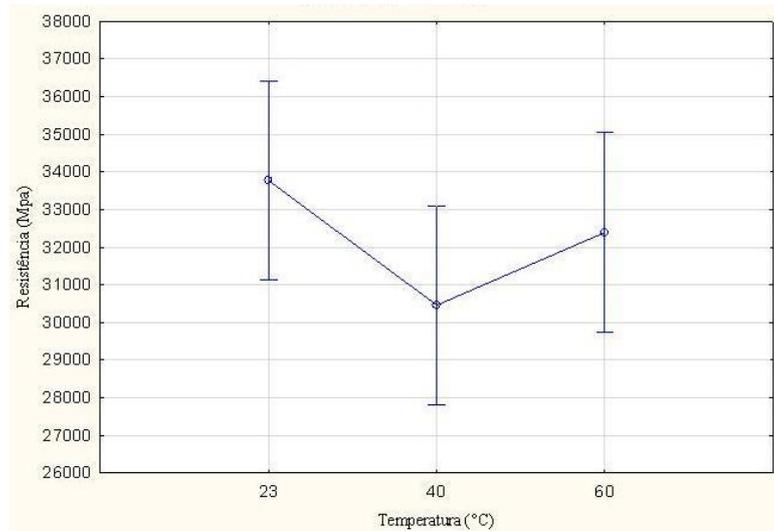


Figura 41 – Intervalo de confiança de 95% para módulo de elasticidade para 28 dias
Fonte: Autores, 2014.

Transcrevendo os valores das resistências à compressão obtidos para as relações citadas em 2.3, calculam-se valores que variam de 32412,3 MPa a 33971,3 MPa para a Equação 19 e 27203,2 MPa a 28522,6 MPa para a Equação 20. Tais valores foram calculados a partir dos resultados à compressão com idade de 28 dias, pelo fato que nessa idade, o ganho de resistência à compressão do concreto é menor.

O Apêndice I mostra que os mesmos variam de 30461,7 MPa a 33774,7 MPa. Assim percebe-se que a semelhança é maior para a Equação 19. Da mesma forma como para a relação da resistência à tração, as relações para o ensaio de módulo de elasticidade mostraram-se válidas, pelos valores próximos que foram calculados e os que foram ensaiados.

4.5 COMPRAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

A Tabela 21 mostra o aumento (em porcentagem) em função da cura térmica nos testes de resistência à compressão, resistência à tração, e o de módulo de elasticidade:

Idade	C			T			E		
	23°C 40°C	23°C 60°C	40°C 60°C	23°C 40°C	23°C 60°C	40°C 60°C	23°C 40°C	23°C 60°C	40°C 60°C
8 horas	*	*	19,5	*	*	38,9	*	*	6,8
24 horas	45,0	52,6	13,8	7,7	36,8	31,6	8,4	20,2	12,9
7 dias	-1,4	4,7	6,1	-14,3	0,0	14,3	-7,5	-1,2	6,3
28 dias	-7,6	-9,0	-1,5	-22,9	-22,9	0,0	-9,8	-4,1	6,0

Fonte: Autores, 2014.

Ressalta-se que, como para a cura ambiente de 8 horas os resultados foram nulos, as mesmas não foram comparadas. O sinal negativo indica que ao invés do acréscimo houve um decréscimo (considerando que a sequência seria cura ambiente, cura a 40°C e cura a 60°C).

Os valores de resistência à tração por serem baixos (quando comparados à resistência à compressão e módulo de elasticidade) apresentam porcentagens de variação inconstante, ou seja, um pequeno acréscimo (ou decréscimo) representa uma grande porcentagem.

De um modo geral, para o ensaio de compressão, a diferença percentual é mais significativa nas idades iniciais comparando-se ao ensaio de módulo de elasticidade. Já para as idades mais avançadas essa diferença fica semelhante para os dois ensaios. Tais resultados apontam que a cura térmica tem maior influência na resistência à compressão do concreto quando comparados ao módulo de elasticidade. Tal fato se explica pelo módulo de elasticidade do concreto estar diretamente ligado com o da argamassa e do agregado graúdo, e a cura térmica influenciar apenas no da argamassa, tendo assim, uma menor influência. Assim, tem-se uma maior resistência à compressão sem necessariamente ter uma maior rigidez nas primeiras idades.

5 CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos nos ensaios realizados e considerando os objetivos que foram propostos inicialmente no estudo em questão, apresentam-se as conclusões a seguir

O objetivo do presente estudo em ter uma resistência de 15,0 MPa (resistência referenciada por bibliografia) à compressão do concreto em 8 horas, é que dessa forma, em uma indústria de pré-moldado, seria possível utilizar a mesma fôrma duas vezes no mesmo dia, reduzindo assim pela metade o custo com formas.

Constatou-se que para conseguir tal resistência nesse tempo específico, foi necessário o uso da cura térmica, tendo em vista que para a cura ambiente normal, não foi possível ter um valor, devido ao fato da prensa do ensaio, não conseguir aplicar a carga, considerando assim zero o valor da resistência à compressão.

Tratando da cura térmica com diferentes temperaturas em seu patamar (40°C e 60°), é possível observar que a diferença entre as mesmas é mínima, quando se leva em consideração a análise estatística realizada. Dessa forma, é possível afirmar que quando o concreto referenciado no estudo, é submetido à uma cura térmica com um patamar de 40°C, o mesmo teria condições de ser içado em 8 horas de cura, acelerando assim a produção de uma fábrica de pré-moldados, com um menor custo (para elevar o mesmo concreto à 60°C é mais oneroso).

A região onde o estudo foi realizado (sudoeste do Paraná), tem como característica um verão com temperaturas relativamente altas (facilmente chega-se aos 30°C), e um inverno rigoroso. Assim a cura térmica mostra-se efetiva em ambos os casos. No verão é necessário uma pequena elevação de temperatura para conseguir alcançar o patamar. No inverno essa elevação não é tão simples como no verão, porém, uma peça que levaria até dois dias para ser içada, com a cura térmica, poderia ser içada mais cedo.

Comparando-se a influência da cura térmica na resistência à compressão, com a no módulo de elasticidade, é notável que para a idade de 8 horas de cura, a influência é grande para as duas características. Porém com o decorrer do tempo, essa diferença é maior para a resistência a compressão.

A cura térmica proporciona ao concreto uma resistência mínima de içamento em 8 horas, e com o passar do tempo, esse valor aumenta significativamente até um ponto (28 dias). Já se tratando do módulo de elasticidade, a cura térmica proporciona em 8 horas, praticamente quase toda a rigidez da peça, considerando que o aumento após esse período é bem inferior. Ou seja, através da cura térmica, em 8 horas é possível obter uma peça com a

resistência necessária de içamento, e uma rigidez praticamente equivalente a um concreto com de 28 dias de idade. Como o módulo de elasticidade é indiretamente proporcional à deformação, quanto maior a rigidez da peça, menor será a deformação, e conseqüentemente a desforma será mais fácil.

Outra característica que sofreu influência da cura térmica foi a resistência à tração. Esse fator é ligado diretamente com a aderência entre o concreto e o aço. Quanto maior for a aderência, menor a chance de haver uma fissura no momento do içamento.

Assim como a resistência à compressão, a resistência à tração sofreu maior influência nas primeiras idades. E novamente, estatisticamente o valor para a idade de 28 dias, não tem diferença significativa.

Considerando que é necessário 15,0 MPa de resistência à compressão para que a peça possa ser içada, e considerando também a correlação de que a resistência à tração do concreto de média resistência é 8% a 9% da resistência à compressão, chega-se ao valor de 1,2 MPa a 1,4 MPa. Conforme mostra o Apêndice G, percebe-se que tal condição é atendida, pois os valores com a cura térmica variam de 1,1 MPa a 1,8 MPa.

Analisando os resultados obtidos para a resistência à compressão aos 28 dias, estatisticamente não existe diferença significativa. Porém analisando cada valor em particular, como mostra o Apêndice E, é notável uma pequena perda de resistência quando aplicada a cura térmica, porém nada muito elevado.

Segundo Terzian (2005), a temperatura máxima de aplicação da cura térmica é 70°C, e esse nível de temperatura pode proporcionar uma redução da ordem de 10 a 20% na resistência final do concreto. O presente estudo mostra que essa perda é de cerca de 7 a 8%, ou seja, houve a diminuição, porém em uma menor escala quando comparada com a bibliografia.

É importante considerar a validade da correlação entre a resistência do concreto do corpo-de-prova (10x20 cm) com uma peça de concreto pré-moldada. A temperatura interna dos corpos-de-prova que tem cerca de 1,6 litros provavelmente não é a mesma de uma peça que pode chegar a ter um volume de 3 m³ de concreto. Considerando-se o diferencial de temperatura, a maturidade da peça será maior, e assim, sua resistência também.

Analisando a necessidade local (problemática), onde a resistência inicial deve ser elevada o suficiente para que uma peça pré-moldada possa ser içada, porém com uma resistência final não tão alta assim (menor custo), a cura térmica com patamar de 40°C mostrou-se uma alternativa interessante, pois a mesma proporciona os requisitos necessários para essa desforma em pouco tempo.

Quanto a viabilidade econômica da aplicação desse tipo de cura, é necessário que haja um estudo específico no assunto, onde seja realizada uma análise econômica dessa implantação em uma fábrica de pré-moldado, apontando em quanto tempo, teria retorno tal investimento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de aperfeiçoar e dar continuidade ao presente trabalho de pesquisa, seria interessante estudar/pesquisar os seguintes assuntos:

- influência da cura térmica em concretos dosados com aditivos;
- estudo dos diferentes tipos de cura térmica em uma fábrica de pré-moldados;
- análise da viabilidade econômica de implantação da cura térmica em uma fábrica de pré-moldados;
- estudo da perda de resistência à compressão aos 28 dias originada pela cura térmica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

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

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo de elástico de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

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

_____. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto Parte I - Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem, Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 65:** Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento Portland.** São Paulo – SP, 2002.

BARDELLA, P. S. 1º Encontro nacional de pesquisa projeto produção em concreto pré-moldado. **Sistemas de Cura em Concretos Produzidos com Cimento Portland de Alto-Forno com Utilização de Sílica Ativa.** São Carlos – SP, nov. 2005.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção:** 5.ed. Rio de Janeiro: ABDR Afiliada. Editora LTC, 1994.

CAMPITELI, V. C. **Concreto de Cimento Portland: Um Método de Dosagem.** Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2004. Disponível em <<http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/Num20/Pag%205-16.pdf>>, acessado em: 10 ago. 2013.

CHASTRE, C.; LÚCIO, V. **Estruturas Pré-moldadas no Mundo - Aplicações e Comportamento Estrutural.** Editora Parma, Ltda. Guarulhos, 2012.

DEBS, M. K. E. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações.** 1ª Edição Projeto Reenge. Escola de engenharia de São Carlos/SP – USP, 2000.

FERREIRA, M.A. **A importância dos sistemas flexibilizados.** Apostila UFSCar 2003.

ITAMBÉ. **Apostila de ensaios de concreto e agregados.** Assessoria Técnica Itambé 3ª Edição. Curitiba, 2011.

MARTINS, A. R. **Efeito da cura térmica e de cimentos com escória granulada de alto-forno na durabilidade do concreto de cobrimento.** 2001. 169 f. Tese (Mestrado em

Engenharia Civil). FEC/UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Edição São Paulo: Editora Pini LTDA, 1994.

MELO, A. B. de. **Influência da cura térmica (vapor) sob pressão atmosférica no desenvolvimento da microestrutura dos concretos de cimento Portland**. 2000. 296 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MILANI, C. J. Et al. **Processo produtivo de elementos pré-moldados de concreto armado: detecção de manifestações patológicas**. RISCO, Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo. IAU-USP, 2012.

MILANI, C. J. **Acervo digital**. 2014.

MORAES, M. Notas de aula. PUC – Goiás. Disponível em: <<http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15920/material/2.%20Tipos%20de%20Cimento%20Portland.pdf>> Acesso em: 10 ago. 2013.

MOREIRA, K. A. W. **Estudo das manifestações patológicas na produção de pré-fabricados de concreto**. 2009. 127f. Tese (Mestrado em Engenharia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Editora Bookman. 2.ed. Porto Alegre, 1997.

PAULON, V. A. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. IBRACON, 2005.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland. Editora Globo, 1968.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Estruturas de concreto – Capítulo 2**. Notas de Aula. 2004.

RODRIGUES, M. E. Artigo UNAM. **Estruturas pré-fabricadas de concreto**. Universidade do México, Cidade do México, 2002.

SALAS, S. J. **Construção industrializada: pré-fabricação**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1988.

SANTOS, A. C. M. B. dos. **Influência da cura térmica nas resistências dos concretos destinados à produção de blocos estruturais**. 2009. 119 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SANTOS, L. F. dos. 2º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. **O efeito da cura térmica em concretos com cimento CP-V ARI Plus pelos conceitos do método da maturidade**. São Carlos, Nov. 2009.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. de A.; PIGOZZO, B. N. 1º Encontro nacional de pesquisa projeto produção em concreto pré-moldado. **Evolução dos pré-fabricados de concreto**. São Carlos, Nov. 2005.

SHEHATA, L. da C. D. **Concreto: Ensino, Pesquisa e realizações**. IBRACON, volume 1, São Paulo – SP. 2011.

SILVA, E. de Q. **Análise comparativa entre os métodos de dosagem ABCP e IPT/EPUSP no tocante a resistência a compressão**. 4º Congresso de Pesquisa e inovação da rede Norte e Nordeste de educação tecnológica. Belém – PA, 2009.

TERZIAN, P. **Concreto pré-fabricado**. Concreto Ensino Pesquisas e Realizações. IBRACON, volume 2, 2005.

VASCONCELOS, A. C. **O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**. Volume III. Studio Nobel. São Paulo, 2002.

APÊNDICE A – GRANULOMETRIA AREIA NATURAL

Tabela 22 - Granulometria areia natural

Peneiras # (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Variação (%)	Médias	
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida		% retida	% retida acumulada
9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
4,8	0,0	0,0	2,0	0,2	0,2	0,1	0
2,4	2,0	0,2	1,5	0,2	0,0	0,2	0
1,2	16,5	1,6	14,5	1,4	0,2	1,5	2
0,600	75,0	7,3	75,5	7,5	0,2	7,4	9
0,300	148,0	14,4	147,5	14,6	0,2	14,5	24
0,150	452,0	45,0	467,0	46,3	1,3	45,2	69
0,075	296,0	28,8	268,0	27,6	1,2	27,7	97
Fundo	37,0	3,6	32,0	3,2	0,4	3,4	100

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE B – GRANULOMETRIA AREIA ARTIFICIAL

Tabela 23 - Granulometria areia artificial

Peneiras # (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Variação (%)	Médias	
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida		% retida	% retida acumulada
9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
2,4	1,0	0,1	1,0	0,1	0,0	0,1	0
1,2	164,5	16,4	160,0	16,0	0,4	16,2	16
0,600	323,5	32,2	323,5	32,4	0,2	32,3	49
0,300	180,0	17,9	186,0	18,6	0,7	18,3	67
0,150	126,5	12,6	133,5	13,4	0,8	13,0	80
0,075	84,0	8,4	82,0	8,2	0,2	8,3	88
Fundo	126,0	12,5	113,0	11,3	1,2	11,9	100

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE C – GRANULOMETRIA AREIA COMPOSTA

Tabela 24 - Granulometria areia composta

Peneiras # (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Variação (%)	Médias	
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida		% retida	% retida acumulada
9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
4,8	0,0	0,0	1,2	0,1	0,1	0,1	0
2,4	1,6	0,2	1,3	0,1	0,1	0,1	0
1,2	75,7	7,4	72,7	7,2	0,2	7,4	8
0,600	174,4	17,1	174,7	17,4	0,3	17,4	25
0,300	160,8	15,8	162,9	16,2	0,4	16,0	41
0,150	321,8	31,6	333,6	33,2	1,6	32,3	73
0,075	211,2	20,7	193,6	19,3	1,4	19,9	93
Fundo	72,6	7,1	64,4	6,4	0,8	6,8	100

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE D – GRANULOMETRIA BRITA

Tabela 25 - Granulometria brita

Peneiras # (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Variação (%)	Médias	
	Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	% retida		% retida	% retida acumulada
25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
19,0	1078,0	10,7	967,0	9,7	1,0	10,2	10
12,7	5870,5	58,2	5724,5	57,1	1,1	57,7	68
9,5	2789,5	27,7	2828,0	28,2	0,5	27,9	96
6,3	305,5	3,0	416,0	4,2	1,2	3,6	99
4,8	1,0	0,01	12,5	0,12	0,11	0,1	99
Fundo	43,5	0,4	71,5	0,7	0,3	0,6	100

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE E – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela 26 - Ensaio de resistência à compressão

Idade	Cura Ambiente				Cura 40° C				Cura 60° C			
	Comp. (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)	Comp. (MPa)	Média	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)	Comp. (MPa)	Média	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)
8 horas	-				11,9				15,1			
	-	-	-	-	12,5	13,2	1,9	13,6	18,5	16,4	1,9	11,3
	-				15,2				15,5			
24 horas	9,9				16,1				17,7			
	8,4	9,3	0,8	8,6	18,3	16,9	1,2	7,0	22,0	19,6	2,2	11,2
	9,6				16,5				19,0			
7 dias	23,7				25,2				31,0			
	34,3	28,1	5,6	19,8	28,0	27,7	2,4	8,6	27,7	29,5	1,6	5,6
	26,2				30,0				29,7			
28 dias	42,5				31,2				32,7			
	32,0	36,8	5,3	14,4	37,0	34,0	2,9	8,5	33,5	33,5	0,8	2,4
	36,0				33,7				34,3			

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE F – TESTE DE VARIÂNCIA – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela 27 – Teste de variância resistência à compressão para 8 horas

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	451,9	225,9	0,00002
Resíduo	6	13,3	2,2	
Total	8	465,1		

Fonte: Autores, 2014.**Tabela 28 – Teste de variância resistência à compressão para 24 horas**

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	171,7	85,8	0,00040
Resíduo	6	13,3	2,2	
Total	8	465,1		

Fonte: Autores, 2014.**Tabela 29 – Teste de variância resistência à compressão para 7 dias**

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	5,1	2,5	0,82805
Resíduo	6	13,3	2,2	
Total	8	465,1		

Fonte: Autores, 2014.**Tabela 30 – Teste de variância resistência à compressão para 28 dias**

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	19,0	9,5	0,50308
Resíduo	6	13,3	2,2	
Total	8	465,1		

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE G – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Tabela 31 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Idade	Cura Ambiente				Cura 40° C				Cura 60° C			
	Tração (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)	Tração (MPa)	Média	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)	Tração (MPa)	Média	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)
8 horas	-				1,0				1,7			
	-	-	-	-	1,1	1,1	0,1	4,9	2,0	1,8	0,2	9,0
	-				1,0				1,8			
24 horas	1,2				1,4				2,1			
	1,3	1,2	0,1	9,3	1,0	1,3	0,3	20,5	1,8	1,9	0,2	9,1
	1,1				1,5				1,9			
7 dias	2,7				2,2				2,8			
	2,9	2,8	0,2	7,8	2,4	2,4	0,3	10,3	2,9	2,8	0,1	1,6
	3,2				2,7				2,8			
28 dias	3,7				2,7				2,7			
	3,2	3,5	0,3	9,2	2,8	2,7	0,1	4,8	2,8	2,7	0,1	2,5
	3,7				2,5				2,8			

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE H – TESTE DE VARIÂNCIA – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR
COMPRESSÃO DIAMETRAL

Tabela 32 – Teste de variância resistência à tração para 8 horas

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	5,0	2,5	0,00000
Resíduo	6	13,3	2,2	
Total	8	465,1		

Fonte: Autores, 2014.**Tabela 33 – Teste de variância resistência à tração para 24 horas**

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	1,0	0,5	0,00718
Resíduo	6	13,3	2,2	
Total	8	465,1		

Fonte: Autores, 2014.**Tabela 34 – Teste de variância resistência à tração para 7 dias**

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	0,4	0,2	0,04613
Resíduo	6	13,3	2,2	
Total	8	465,1		

Fonte: Autores, 2014.**Tabela 35 – Teste de variância resistência à tração para 28 dias**

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	1,4	0,7	0,00363
Resíduo	6	13,3	2,2	
Total	8	465,1		

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE I – ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Tabela 36 - Ensaio de módulo de elasticidade

Idade	Cura Ambiente				Cura 40° C				Cura 60° C			
	M. Elas (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)	M. Elas (MPa)	Média	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)	M. Elas (MPa)	Média	Desvio Padrão	Coef. Var. (%)
8 horas	-	-	-	-	22104,5	21388,1	1013,1	4,7	24153,8	19926,4	5978,5	30,0
	-	-	-	-	20671,8				15699,0			
24 horas	20403,9	22629,9	3147,9	13,9	24248,4	24703,0	642,9	2,6	27684,6	28362,8	959,1	3,4
	24855,8				25157,6				29041,0			
7 dias	31476,1	31476,1	0	0	27694,0	29122,2	2019,7	6,9	31267,3	31095,1	243,5	0,8
	31476,1				30550,3				30922,9			
28 dias	34559,0	33774,7	1109,2	3,3	29370,0	30461,7	1544,0	5,1	32910,5	32395,5	728,3	2,2
	32990,4				31553,5				31880,5			

Fonte: Autores, 2014.

APÊNDICE J – TESTE DE VARIÂNCIA – MÓDULO DE ELASTICIDADE

Tabela 37 – Teste de variância módulo de elasticidade para 8 horas

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	571100422,3	285550211,1	0,01488
Resíduo	3	13,3	2,2	
Total	5	465,1		

Fonte: Autores, 2014.

Tabela 38 – Teste de variância módulo de elasticidade para 24 horas

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	33705191,1	16852595,5	0,12509
Resíduo	3	13,3	2,2	
Total	5	465,1		

Fonte: Autores, 2014.

Tabela 39 – Teste de variância módulo de elasticidade para 7 dias

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	33705191,1	16852595,5	0,24660
Resíduo	3	13,3	2,2	
Total	5	465,1		

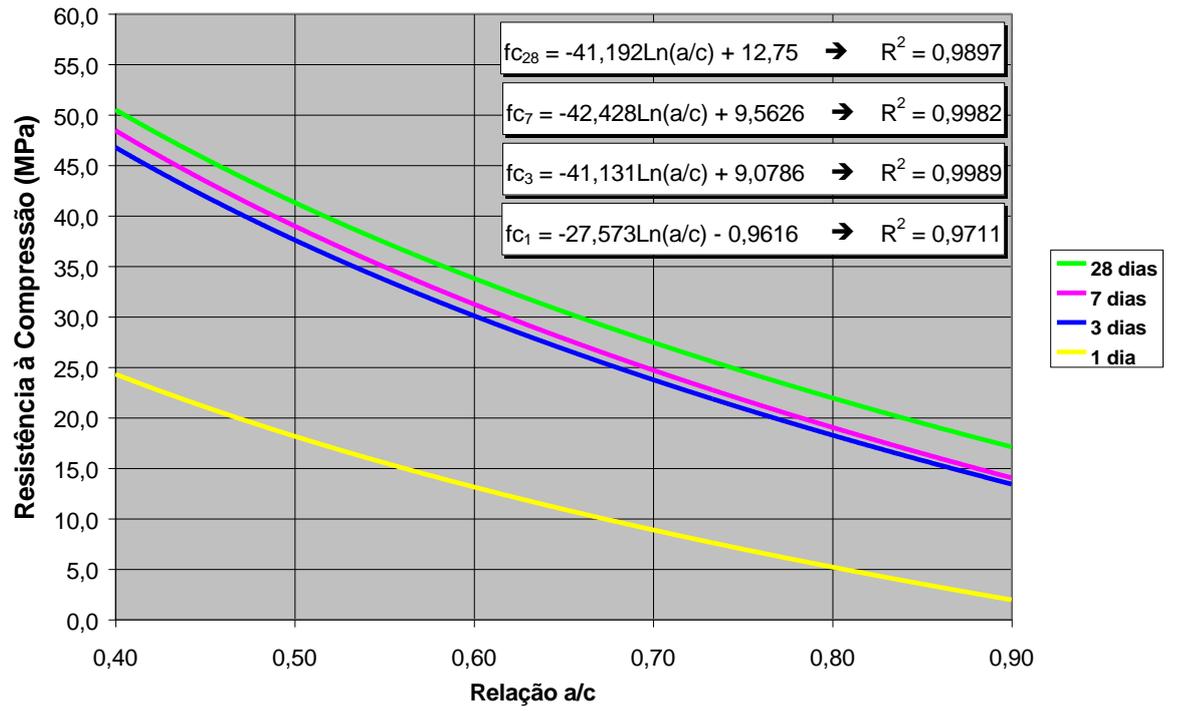
Fonte: Autores, 2014.

Tabela 40 – Teste de variância módulo de elasticidade para 28 dias

FV	gl	SQ	QM	p
Tratamento	2	11078282,5	5539141,2	0,14206
Resíduo	3	13,3	2,2	
Total	5	465,1		

Fonte: Autores, 2014.

ANEXO A – CURVA DE ABRAMS



ANEXO B – TABELA CONSUMO DE AGREGADO GRAÚDO

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665