



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

NAIEIDE BATISTA DE OLIVEIRA

**CONCRETO RESFRIADO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS
TEMPERATURAS DO CONCRETO RESFRIADO E O CONVENCIONAL**

PAU DOS FERROS-RN

2017

NAIEIDE BATISTA DE OLIVEIRA

**CONCRETO RESFRIADO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS
TEMPERATURAS DO CONCRETO RESFRIADO E O CONVENCIONAL**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Câmpus Pau dos Ferros, para obtenção do título
de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Me. Rogerio de Jesus Santos–
UFERSA.

PAU DOS FERROS-RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B48c Batista de Oliveira, Naieide.
CONCRETO RESFRIADO:UMA ANÁLISE COMPARATIVA
ENTRE AS TEMPERATURAS DO CONCRETO RESFRIADO E O
CONVENCIONAL / Naieide Batista de Oliveira. -
2017.
58 f. : il.

Orientador: Rogerio de Jesus Santos.
Coorientador: Cláwsio Rogério Cruz de Sousa.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2017.

1. concreto massa. 2. calor de hidratação. 3.
fissuras. I. de Jesus Santos, Rogerio , orient.
II. Rogério Cruz de Sousa, Cláwsio , co-orient.
III. Título.

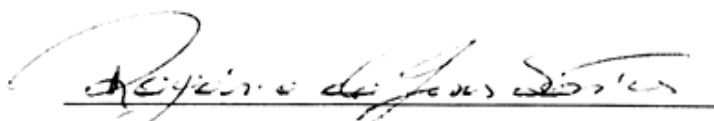
NAIEIDE BATISTA DE OLIVEIRA

**CONCRETO RESFRIADO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS
TEMPERATURAS DO CONCRETO RESFRIADO E O CONVENCIONAL**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Pau dos Ferros, para obtenção do título
de Engenheira Civil.

APROVADA EM: 23 / 10 / 2017

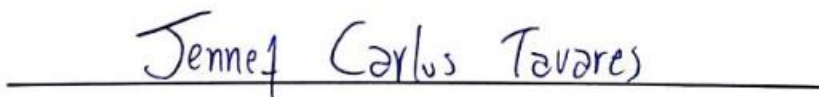
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Rogerio de Jesus Santos
Presidente



Prof. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa
Primeiro Membro



Prof. Bel. Jennef Carlos Tavares
Segundo Membro

Ao meu pai **Nivaldo Vicente de Oliveira**, homem simples, humilde e batalhador, no qual posso me orgulhar de ter herdado a força de vontade que contribuiu para que eu nunca desistisse dos meus sonhos. A minha mãe, **Maria Claudeneide Batista**, que foi mãe e pai em diversos momentos e que me ensinou a encarar a vida de uma maneira alegre, seja nos momentos fáceis ou difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, por ter me dado o dom da vida. Por ter me mantido com uma boa saúde ao longo do curso, e pela sabedoria que me presenteou para que mesmo diante das dificuldades ao longo do curso, eu me mantivesse forte.

Aos meus pais Maria Claudeneide Batista e Nivaldo Vicente de Oliveira, por terem me transmitido os conhecimentos básicos de uma educação, que me fizeram ser quem hoje eu sou. Por todo o carinho familiar, pela paciência nas horas de ensinamentos, e por terem sido duros comigo na hora de me mostrar o que era certo e o que era errado.

Ao meu irmão Alison Fábio Batista, que foi pai e mãe na ausência dos mesmos. Que cuidou de mim quando criança, como hoje cuida de seus filhos. Que diariamente tirava um pouco de seu tempo pra me conduzir a escola e me ajudar carinhosamente como irmão mais velho nas atividades escolares. Quem eu sou hoje, é graças ao prazer que você me proporcionou nessas horas alegres.

Ao meu grande amigo, parceiro, conselheiro e até professores durante esse tempo de curso, Gabriel Ferreira. Obrigada por ter me reerguido todas as vezes que eu me senti pequena, pela sua amizade e lealdade dela. Obrigada pelos momentos de aprendizado, se hoje estou concluindo esse curso, você é um dos maiores responsáveis por esse sonho.

Ao meu orientador Rogério de Jesus, pela dedicação, paciência (obrigada mesmo por esse quesito) e colaboração nessa pesquisa. Por ter sido uma peça ímpar nesse momento de conclusão do curso. E por ter mostrado tanta responsabilidade no qual mostra o porquê do mesmo fazer jus ao título de meu orientador.

Aos professores que tive ao longo da vida acadêmica, cada um contribuiu para a evolução dos meus conhecimentos dia a dia.

Aos amigos verdadeiros que o curso pôde me proporcionar. A convivência, parceria, sinceridade e apoio, que me tornou mais próxima dos(as) queridos(as): Airlis Mendes, Juliana Noronha, Larissa Maia e Renata Dantas.

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade. ”

— Albert Einstein

RESUMO

O semiárido Brasileiro é conhecido como a região de eventos frequentes de “seca”, o clima do território é marcado por valores de índices pluviométricos inferiores, variações de vento e baixos valores de umidade. Quando surge a necessidade de fabricação de peças de alta densidade de concreto massa, seus elevados valores de temperatura junto a esses fatores ambientais, tornam-se pontos consideráveis para o possível advento de problemas estruturais, como o surgimento de patológicos em peças de concreto, sejam elas: pré-moldadas ou moldadas *in loco*. Com isso manifestou-se a necessidade de estudar essas técnicas e viabilizar sua utilização, a fim de controlar de forma moderada o calor de hidratação, evitando problemas futuros, garantindo a resistência e a durabilidade da estrutura. Um desses procedimentos é a utilização de parte da água de amassamento do concreto em forma de gelo em escamas. Seu intuito é a redução das taxas de calor emitida pelas reações, controlando-as através da temperatura do gelo, permitindo a conclusão das reações que não venham a comprometer a estrutura. Para isso, a presente pesquisou a moldagem de dois blocos de concreto massa: um de concreto resfriado com uso de cimento Portland de baixo calor de hidratação (CPIV), e outro de concreto convencional com o uso de cimento Portland de alta resistência inicial (CPV), objetivou-se avaliar o processo de variações térmicas decorrentes de sua hidratação durante 28 dias. Após apresentadas os valores, pode-se notar que o concreto resfriado apresentou significativas vantagens comparado ao concreto convencional, como: baixo valor de temperatura de lançamento, controle nos acréscimos de temperaturas, e valores de temperatura inferiores ao do concreto convencional. Com base em todos os fatores apresentados, foi possível constatar que a utilização do concreto resfriado em massa de fato apresentou vantagens térmicas, quando comparado-se a outros tipos de concreto, principalmente quando se tratou de sua utilização em regiões com características semiáridas e peças de altas densidades.

Palavras-Chave: concreto massa, calor de hidratação, fissuras.

ABSTRACT

The Brazilian semi - arid is known as the region of frequent events of "drought", the climate of the territory and marked by values of lower rainfall indices, wind variations and low values. When a need arises for manufacturing high-density concrete parts, their high temperature values together with environmental factors become considerable points for the possible advent of structural problems, such as the appearance of pathological concrete parts, if they are: preformed or molded in loco. Therefore, the need to study these techniques and to enable their use, in order to moderately control the heat of hydration, avoiding future problems, guaranteeing a resistance and a durability of the structure. One type of procedure is used by kneading the concrete into the form of ice in flakes. Its purpose is to reduce as heat rates emitted by reactions, controlling-like through the temperature of the ice, allowing a conclusion of the reactions without compromising a structure. Therefore, a present research carried out a molding of two blocks of concrete mass: one of cooled concrete using low heat of Portland cement cement (CPIV), and the other of conventional concrete with the use of Portland cement of initial resistance CPV), with the objective of evaluating the whole process of thermal variations due to its hydration during 28 days. After the presentation of values, it can be noticed that the cooled concrete presented significant advantages compared to the conventional concrete, as: low value of launch temperature, control in the addition of temperatures, and temperature values lower than the conventional concert. Based on all the factors, it was possible to verify that the use of the mass cooled concrete does in fact present thermal advantages when compared to other types of concrete, especially when it is used in regions with semi-arid characteristics and high density parts.

Keywords: concrete mass, heat of hydration, fissures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Elevação da temperatura do concreto após um período de tempo de preparo.....	14
Figura 3.2: Calor total liberado em 3 dias em pastas (feito da relação água/cimento).....	17
Figura 3.3: Temperatura do concreto versus tempo.	23
 Figura 4.1: Bloco de concreto resfriado (à esquerda da imagem) e bloco de concreto de alta resistência inicial (à direita da imagem).....	 39
 Figura 5.1: Processo exotérmico de hidratação subdividido em cinco estágios.....	 49
Figura 5.2: Evolução do calor de hidratação no concreto e a influência dos tipos de cimento	50
Figura 5.3: Evolução percentual de calor de hidratação no centro do blocos de concreto.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 :Calor de hidratação liberado após 72 horas, a diferentes temperaturas.....	18
Tabela 3.2: Calor de hidratação dos compostos do cimento puro.	21
Tabela 3.3: Probabilidade de Fissuras sobre influência de vento e umidade.	29
Tabela 4.1: Características dos aglomerantes, agregados e relação água cimento.....	36
Tabela 4.2: Características cimento Portland de baixo calor de hidratação - CPIV-32.	37
Tabela 4.3: Características cimento Portland de alta resistência inicial - CPV-ARI.	37
Tabela 4.4: Quantidade de materiais utilizados na fabricação dos blocos de concreto massa.	38
Tabela 5.1: Medições do bloco de Concreto ARI, primeiros dois dias de concretagem.....	41
Tabela 5.2: Medições do bloco de Concreto Resfriado, primeiros 2 dias de concretagem.....	42
Tabela 5.3: Temperaturas dos primeiros cinco dias após concretagem dos blocos.....	43
Tabela 5.4: Temperaturas do sexto ao décimo dia após concretagem dos blocos.....	44
Tabela 5.5: Temperaturas do décimo primeiro ao décimo quinto dia após concretagem dos blocos.....	46
Tabela 5.6: Temperaturas do décimo sexto ao vigésimo dia após concretagem dos blocos....	47
Tabela 5.7: Temperaturas do vigésimo primeiro ao vigésimo quinto dia após concretagem dos blocos.....	48

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 GERAL	13
2.2 ESPECÍFICOS	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 CALOR DE HIDRATAÇÃO	14
3.2 CONCRETO MASSA	15
3.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS DO CONCRETO	15
3.4 TIPOS DE CIMENTO	16
3.5 ADITIVO POZOLANA	19
3.6 EFEITOS INTERNOS DO CONCRETO	21
3.6.1 Hidratação do cimento	21
3.6.2 Idades do concreto	22
3.6.3 Finura do cimento	24
3.6.4 Condutividade térmica do cimento	24
3.6.5 Retração do concreto e surgimento de fissuras	25
3.6.6 Agregados	27
3.6.7 Geometria da peça	28
3.7 EFEITOS EXTERNOS DO CONCRETO	28
3.7.1 Velocidade do vento e baixa humidade	28
3.7.2 Raios solares	30
3.7.3 Clima	30
3.8 FISSURAS	31
3.9 CONCRETO RESFRIADO	32
3.9.1 Principais Vantagens	34
4. METODOLOGIA	35
4.1 MATERIAIS E MÉTODOS	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
6. CONCLUSÕES	53
7. REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

O semiárido Brasileiro abrange cerca de 969.589 km², inserindo a maior parte do nordeste e englobando estados como: Ceará, Rio Grande do Norte, Sudeste do Piauí, grande parte da Paraíba e Pernambuco, oeste de Alagoas e Sergipe, a região central da Bahia, e uma parte de Minas Gerais. (BRASIL, 2005).

Conhecida como a região de eventos frequentes de “seca”, o clima do território é marcado por valores de índices pluviométricos inferiores, variações de vento e baixos valores de umidade, que agravam o evento com os constantes valores de temperaturas elevadas.

Na construção civil, esses fatores ambientais juntos as reações de hidratação descontroladas do concreto, tornam-se pontos consideráveis para o possível advento de problemas estruturais, como o surgimento de patológicos em peças de concreto, sejam elas: pré-moldadas ou moldadas *in loco*.

As adversidades se propagam quando se tratam de obras de grande porte, onde os elementos tendem a apresentarem altas densidades volumétricas, ocasionando um número maior de reações químicas, e consequentemente um valor maior quanto ao calor de hidratação a ser liberado.

O calor presente no local mais interno das peças apresentam taxas de calor maiores do que sua superfície. Isso ocorre, por que o calor a liberado apresentam maior dificuldade em dissipar-se para o ambiente externo. Através desse efeito, surgem e propagam-se as manifestações patológicas.

Essas reações químicas surgem desde início da fabricação do concreto massa, e são nomeadas como reações de hidratação. São elas as responsáveis pelas taxas de temperatura do concreto. Fator esse, resultante da atuação do cimento na composição, o maior responsável pela liberação de calor devido sua característica exotérmica.

Esses fatores quando combinados com elevadas temperaturas, calor do sol, baixa umidade e ventos a altas velocidades (características em constante presença na região semiárida), tendem a acelerar as reações químicas do concreto, aumentarem as taxas de hidratação e elevarem as temperaturas no interior das peças.

Todos esses fatores quando não controlados, aceleram a pega e a cura do concreto, contribuem para o surgimento de fenômenos conhecidos como segregação, retração e exsudação do concreto e acabam influenciando negativamente para o surgimento de fissuras, que comprometem a estética, a eficiência e a vida útil da peça.

Esse fenômeno pode ser controlado com algumas técnicas construtivas que buscam controlar as taxas de calor liberado, equilibrando as reações de hidratação sem prejudicar as propriedades do concreto.

Com isso surgiu a necessidade de estudar essas técnicas e viabilizar sua utilização, afim de controlar de forma moderada o calor de hidratação, evitando problemas futuros, garantindo a resistência e a durabilidade da estrutura.

Um desses procedimentos é utilizar de parte da água de amassamento do concreto em forma de gelo em escamas. O intuito maior dessa aplicação é reduzir as taxas de calor emitida pelas reações, controlando-as através da temperatura do gelo, permitindo a conclusão das reações sem comprometer a estrutura.

Outro ponto interessante a ser questionado é o avanço da tecnologia, que influencia a inovação de técnicas construtivas dia após dia. Com isso, o tempo de execução das obras se tornaram mais curtos, o cimento vem apresentando um leque de opções para cada tipo de obra e a utilização de aditivos tornam-se mais comum, e o investimento em técnicas pouco conhecidas vem aumentando, principalmente em obras de grande porte.

Diante disso, o presente trabalho teve o intuito de apresentar resultados quanto ao uso do concreto resfriado, no aspecto de reduzir a temperatura de lançamento do concreto. Ressaltando uma necessidade maior da utilização da técnica construtiva em regiões onde prevalecem climas quentes e umidades baixa, a região semiárida do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Apresentar os principais benefícios térmicos do uso do concreto resfriado em regiões onde prevaleça o clima com altas temperaturas, umidade baixa ou variante e alto índice de radiação solar e em peças estruturais de alta densidade de volume de concreto, comparado ao uso do Concreto Convencional.

2.2 ESPECÍFICOS

- Relatar a importância do controle de calor de hidratação em peças de concreto;
- Esclarecer quais agentes externos e internos interferem no surgimento de fissuras;
- Realizar testes que comprovem a vantagem do uso do concreto resfriado em relação ao concreto convencional;
- Avaliar todo o processo de variações térmicas decorrentes da hidratação de um bloco de concreto resfriado e um bloco de concreto convencional durante 28 dias.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CALOR DE HIDRATAÇÃO

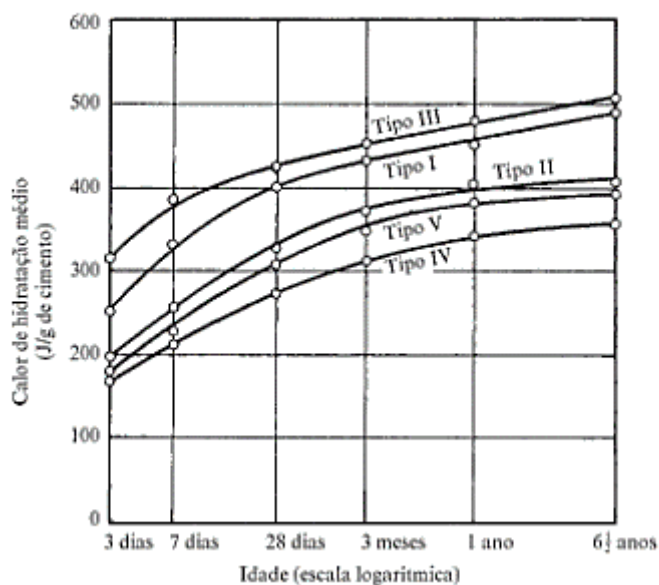
Quanto ao calor de hidratação Neville (2016) explicou que a quantidade de calor liberada no processo de hidratação, em que o concreto está submetido a uma determinada temperatura, expressa em joules por grama (J/g) de cimento anidro.

Rigorosamente falando, o calor de hidratação consiste no calor das reações de hidratação e no calor da absorção de água na superfície do gel formado pelo processo de hidratação (NEVILLE, 2016)

Quando aos valores de temperatura resultantes da hidratação, Neville (2016) relata que ela afeta fortemente a velocidade de desenvolvimento do calor, o que para fins práticos é mais relevante do que o calor total de hidratação. Visto que, se uma quantidade de calor é produzida num período de tempo maior, pode ser dissipado gradualmente, e com menor elevação da temperatura.

Entretanto, o calor de hidratação não é o principal problema em questão, mas sim a velocidade em que ela se desenvolve. Alguns desses valores, dependem significativamente dos tipos de cimento utilizado na fabricação do concreto. Tais variações de temperatura são representadas graficamente na figura 3.1.

Figura 3.1: Elevação da temperatura do concreto após um período de tempo de preparo.



FONTE: Neville, 2016.

Segundo Neville (2016), O Cimento Portland de CP IV com adição de Pozolana, se sobressaiu positivamente em relação a taxa de calor de hidratação liberada em determinadas idades, ilustrada na figura 3.1.

Enquanto, o Cimento Portland de Auto Forno – CP III, mostrou valores próximos a 400 J/g de calor liberado aos seus 7 dias de idade, enquanto o Cimento Portland Pozolanico – CP IV apresenta valores em torno de 210 J/g nessa mesma idade.

Isso implique que, quanto a necessidade da utilização de um cimento que necessite do controle de temperatura do concreto massa para construção de peças de alta densidade, por exemplo, se torna mais viável a utilização do Cimento Portland de baixo calor de hidratação – CP IV, do que qualquer um que apresente taxas de calor de hidratação emitidas maior.

3.2 CONCRETO MASSA

O concreto massa é conhecido por conter altos valores de concreto em suas peças estruturais e por não possuir armadura em sua formação. Sua utilização é comum em construções de grande porte, como fundações e barragens.

Entretanto, a prática tem seus riscos, afirma Neville (2013), quando esclarece que as peças estão submetidas a sofrer fissuração térmica resultante da restrição à retração no resfriamento a partir da temperatura de pico causada pela hidratação do cimento.

Quando ao tempo de idade do concreto que essa fissura possa vir ocorrer, Neville (2013) esclareceu que tanto pode ela pode ocorrer várias semanas depois a concretagem, como nas primeiras idades caso as seções da estrutura sejam esbeltas.

3.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS DO CONCRETO

O concreto é um composto formado por aglomerante, água, agregados e quando necessário, aditivos. O cimento é o material denominado de aglomerante, tem formado de pó e quando adicionado a água, ativa reações de hidratação promovendo a ligação da pasta com os grãos de materiais inertes, os conhecidos agregados. Essa composição heterogênea de materiais dá origem ao concreto.

Segundo Neville (2013), existem três propriedades térmicas de alta relevância para o desempenho do concreto, que são: calor específico, condutividade térmica e coeficiente de dilatação térmica. As primeiras citadas, são as de maior interesse para obras que utilizam de concreto massa, que o aplica em altos volumes e em estados isolados.

Os componentes que o constitui esse material possuem diferentes propriedades térmicas no processo de preparo, envolvendo reações exotérmicas que liberam calor e influenciam significativamente nas características do composto.

Diante disso, Monte Júnior Et. al (2016), afirmou que além dos diferentes tipos de materiais, o volume dos agregados, o teor de água e a porosidade do material resultante afetam diretamente no controle de temperatura da peça e controle do surgimento de fissuras.

Os fatores mencionados anteriormente fazem parte de um conjunto de parâmetros que quando não são bem elaborados, tornam-se responsáveis por falhas consideráveis na estrutura, como por exemplo redução da resistência mecânica e a vida útil do concreto.

Com relação aos materiais presentes no preparo do concreto: aglomerante, agregados, aditivos e água; Neville (2016) destacou o aglomerante (cimento) como o componente da fabricação do concreto responsável pela liberação de até 500 Joules por grama de energia no processo de hidratação, característica equivalente à de uma reação exotérmica¹.

Ganasini (2015) relatou que a escolha do cimento é outro ponto importante, pois optar por cimento com adição de pozolana e que tenham uma finura adequada, reduzem as taxas de calor de hidratação.

3.4 TIPOS DE CIMENTO

A escolha pelo tipo de cimento depende dos valores de resistência mecânica necessário para projeto, do local de aplicação, da densidade da pesa, entre outros. Tais fatores, influenciam diretamente no calor gerado pelo concreto massa.

Em uma pesquisa realizada pelos autores Ern e Helene (2003), foi comprovado que para a fabricação de um concreto convencional com cimentos tipo II da ASTM necessitariam de uma relação água/cimento maior do que 0,4 (mínima proposta para sua completa hidratação). Nesse caso, os autores destacaram que a dispersão total das partículas poderia ser solucionada com um adicional de água na massa de concreto.

Entretanto, a relação água/cimento requer cuidados especiais, já que, enquanto ela aumenta a trabalhabilidade, diminui a resistência mecânica e aumenta a exsudação e retração do concreto. Diante disso, sua fabricação requer um equilíbrio no traço, de modo que não favoreça algumas características e prejudique outras.

¹ Há um aumento de energia nas reações que liberam mais energia ao ambiente na forma de calor, do que absorve. (Atkins, 2001)

Quanto a fabricação de um concreto com o uso de cimento de alta resistência – CP-ARI, ocorreria um problema de dispersão e homogeneização da massa, pois seria necessário a redução da relação água/cimento (cerca de 0,2 e 0,3).

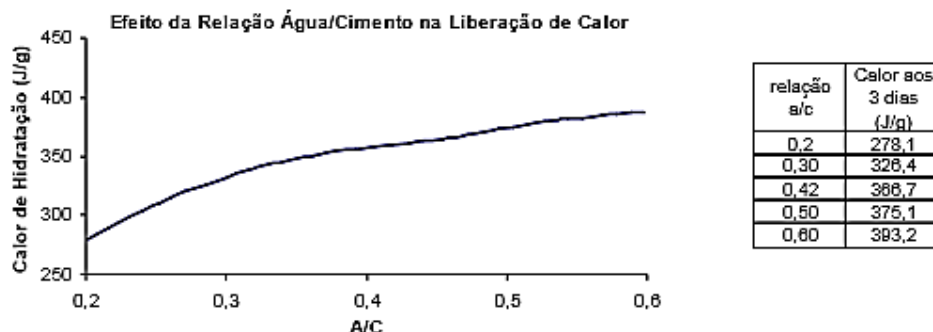
Essa redução na relação água cimento, resulta no aumento das taxas de calor de hidratação, visto que aumenta a presença de cimento na composição. Segundo os autores, em sua pesquisa o problema pôde ser solucionado com a utilização de aditivos que reduzem o calor de hidratação, obtendo-se no final, uma redução significativa na temperatura no produto.

Como mostrado na figura 3.2, à medida que o valor da relação água/cimento é aumentada, os valores de energia gerados pelas reações de hidratação do concreto fabricado com cimento CP II elevam-se.

Isso é uma característica comum do cimento, pois quanto maior o valor de água utilizado no preparo do concreto, maior serão os valores das taxas de liberação de calor resultante das reações de hidratação.

Alguns relações água cimento e seu comportamento quanto a emissão de calor após três dias da sua concretagem, são ilustrados na figura 3.2.

Figura 3.2: Calor total liberado em 3 dias em pastas (feito da relação água/cimento).



Fonte: Ern e Helene (2003)

A figura 3.2 ilustrou como as variações do calor de hidratação se alteram a medida que a relação água cimento aumentam. Percebe-se que o concreto que obtém uma relação água cimento de 0,6, apresenta uma taxa de calor de hidratação liberado após 3 dias de fabricado de 393,2 Joules por grama. O que em comparação com a relação 0,2, chega a ser quase 1/3 menor, apresentando 278,1 Joules por grama.

Entretanto essa quantidade de água quando não controlada adequadamente, pode provocar exsudação, retração e perda de água no concreto. Neville (2013) esclarece que um dos

problemas resultantes da perda da água de amassamento presente no concreto, é o surgimento de bolhas de ar aprisionado ou espaços deixados, que surgem após a saída da água excedente.

Neville (2013) diz que são visivelmente presentes em concretos endurecidos, e um percentual de 5% de vazios, pode ser responsável por uma perda de cerca de 30% da resistência do concreto. O principal responsável por esse excedente da água presente no concreto, é a relação água cimento calculada para uso no traço.

Além desse fator, o autor também esclareceu que a granulometria das partículas finas, também é responsável pelo surgimento de bolhas de ar. E que, as bolhas de ar são mais fáceis de serem evacuadas em concretos com característica úmida do que seca.

Diante disso, faz-se necessário a qualidade da técnica de adensamento e o controle do teor de água presente na mistura, visando além de combater esses efeitos, controlar o calor de hidratação e suas variações presente em todas as idades do concreto, até seus 28 dias.

Quanto aos avanços dos valores de hidratação do concreto, Ern e Helene (2003), esclareçam como ocorre alguns acréscimos de temperatura nessas fases de idade do concreto. Por exemplo, para estruturas que utilizam concretos de média e alta resistência sua temperatura sofre um pico em valores na idade compreendido entre 18 e 48 horas após a concretagem.

Segundo Neville (2016) a temperatura em que o concreto está submetido afeta significativamente a velocidade em que as hidratações se desenvolvem. Buscando esclarecer como a escolha do cimento e a temperatura ambiente, afetam na liberação de calor resultante das hidratações Neville (2016) exemplificou em dados, ilustrados na Tabela 3.1, a taxa de calor liberado em 72 horas por 3 tipos, estando eles submetidos a diferentes temperaturas.

Tabela 3.1 :Calor de hidratação liberado após 72 horas, a diferentes temperaturas.

Calor de Hidratação liberado a:				
	4 °C	24 °C	32 °C	41 °C
Tipo de cimento	J/g	J/g	J/g	J/g
I	154	285	309	335
III	221	348	357	390
IV	108	195	192	214

Fonte: NEVILLE, 2015.

Como pode-se observar, à medida que as concretagens eram submetidas a temperaturas mais elevadas, o calor gerado apresentava valores maiores. Sendo o Cimento Portland de Auto Forno – CP III, o tipo de cimento que apresentou maior calor de hidratação.

O cimento CP III – Cimento Portland de Alto Forno, possui um teor maior de C3S (responsável pelo ganho de resistência durante as quatro primeiras semanas) em comparação aos outros cimentos, cerca de 70%, e maior finura (mínimo 325 m²/kg). Sendo a finura o fator diferenciador entre o CPIII e o CPV. (NEVILLE, 2016)

O CP III, é ideal para obras localizadas em ambientes agressivos, como: barragens, litorais, líquidos inflamáveis, efluentes industriais, entre outros. A principal característica desse tipo, é apresentar alta resistência à expansão sulfatos e à reação álcali-agregados.

Essas reações são conhecidas como ataque a sulfatos, sendo o sulfato de magnésio e o sulfato de sódio os tipos mais ativos. Além disso, fatores relacionados a ciclos de molhagem e secagem podem ser grandes responsáveis por acelerar os processos. (NEVILLE, 2016)

O que solucionou esse problema com os agentes agressivos está a sua composição, que reduz o teor de C3A, e visto que é o principal composto responsável pela resistência na idade inicial do concreto, recompensando esse quesito adicionando e mais aluminatos de cálcio (CS3). (NEVILLE, 2016)

Quanto ao que teve menor liberação de calor proveniente das reações químicas, tivemos o tipo IV – Cimento Portland Pozolânico, devido a presença do aditivo de pozolana na sua composição.

Quando ao CP IV – Cimento Portland de baixo calor de hidratação, é o ideal para peças de alta densidade². Diante disso, as taxas de calor de hidratação são maiores, e se propagam pelos poros até chegar a superfície com mais dificuldade, certa quantidade nem se propaga, e acaba ficando no caminho e aumentando a probabilidade de fissura. (MEHTA E MONTEIRO, 2008)

O cimento CP-IV, cimento que contém em sua composição a adição de pozolana, traz uma gama de benefícios que surgem ainda no estado seco e se estendem até o seu estado endurecido.

3.5 ADITIVO POZOLANA

Segundo Netto (2016) a incorporação do aditivo de pozolana pretendeu controlar o endurecimento do concreto por meio da redução das taxas de energias emitidas. De modo que

²Peças estruturais que necessitam de alto volume de concreto massa para sua moldagem.

o calor gerado pela hidratação se reduza e um valor menor de calor gerado pelas reações, tenha uma facilidade maior de dissipar-se no ambiente externo da peça.

Quanto aos tipos de materiais pozolânicos, a NBR 12653 (1992) define sua classificação em três classes: a classe N, a classe C e a classe E.

No grupo dos materiais de classe N, estão os de característica natural e artificiais, como: materiais vulcânicos de caráter petrográfico, terras diatomáceas e argilas calcinadas. (NBR 12653,1992)

Já a classe C, é composta pelas cinzas volantes que são produzidas a partir da combustão de carvão mineral e usinas termoeletricas. Quando as da classe E, se encaixam todas as pozolanas que não se encaixam nas classes anteriores.

Sua utilização ocorre normalmente de duas formas, Silveira (1996) apud Santos (2006), esclareceu que pode ser parcialmente substituída no cimento, ou como adição em teores variantes em relação à massa ou volume do cimento. Entretanto, Mehta (1987) apud Netto (2006), relatou que não importa como a pozolana foi utilizada junto ao cimento, os benefícios apresentados são os mesmos, variando apenas nos resultados quanto a valores, visto que, cada material apresenta características próprias.

A principal propriedade da pozolana, segundo os autores Oliveira e Barbosa (2006) é a capacidade do composto em combinar-se com o hidróxido de cálcio e formar compostos estáveis de poder aglomerante como: silicatos e aluminatos de cálcio hidratados.

Diante disso, quando em contato com compostos a base de cimento Portland, o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação dos silicatos, reage com a pozolana, utilizada como substituição parcial do cimento, resultando em uma produção extra de silicatos de cálcio hidratados, que são produtos mais estáveis do cimento hidratado (OLIVEIRA e BARBOSA, 2006).

E a NBR 12653 (1992) mostrou que as pozolanas possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que quando estão presente em água, e ao reagirem com o hidróxido de cálcio a uma temperatura ambiente e formam compostos com propriedades aglomerantes.

Quanto ao uso de cimentos comuns para fabricação de concreto, Neville (2016) relatou que cerca de metade do calor de hidratação é liberado entre um e três dias, cerca de 75% em sete dias e entre 83% e 91% em seis meses.

Neville (2016) esclareceu que o valor real do calor de hidratação está diretamente ligado a composição química do cimento e é bastante próximo da soma do calor de hidratação dos

compostos individuais quando são hidratados separadamente. A tabela 3.2 apresenta valores dos componentes e seus respectivos valores de calor de hidratação.

Tabela 3.2: Calor de hidratação dos compostos do cimento puro.

Calor de hidratação dos compostos puros	
Composto	Calor de hidratação
	J/g
C3S	502
C2S	260
C3A	867
C4AF	419

Fonte: NEVILLE, 2015.

A mistura dos componentes apresentados na tabela 3.2, dão origem ao cimento, e a soma dos valores de calor de hidratação de cada composto, resultam no calor de hidratação final, gerado pelo cimento.

Com isso é importante mencionar que sem o controle do calor gerado pelas reações de hidratação, o surgimento de patologias nas estruturas de concreto pode agravar-se e tomar proporções que comprometam a peça. Tal fenômeno é oriundo de fatores que ocorrem internamente e/ou externamente nas peças.

3.6 EFEITOS INTERNOS DO CONCRETO

3.6.1 Hidratação do cimento

A hidratação do cimento surge desde as primeiras reações químicas decorrentes do contato da água com os minerais do cimento. Quando o cimento é misturado com a água, o principal fenômeno que ocorre é o surgimento dos cristais de etringita (C6 ASH32), decorrentes da reação dos sulfatos de cálcio (CaSO_4) com os compostos de cálcio formados a alta temperatura. (MEHTA E MONTEIRO, 2008)

Os cristais que surgem decorrentes da hidratação do cimento se desenvolvem em torno da superfície dos agregados, formando as zonas de transição. Esses cristais que se formam nas primeiras horas de cura ainda são frágeis e cheios de água, o que os caracterizam como zonas frágeis.

A medida que o tempo passa, a hidratação do cimento aumenta, a umidade se reduz e os cristais vão se tornando mais rígidos e resistentes. Geralmente quando o concreto atinge seus

28 dias de cura, a dureza e resistência desejada já tenha sido atendida, entretanto, algumas reações químicas ainda são presentes, garantindo que a medida que o tempo passe o concreto só adquira mais tenacidade e prolongue sua vida útil.

Entretanto, alguns fatores podem comprometer sua qualidade, como por exemplo: o surgimento de fissuras. Em peças de concreto massa, Ganasini (2015) relatou que dentre todos os seus fatores interno, o calor de hidratação do cimento foi a principal fonte de variações volumétricas e dos problemas com fissuras.

Com o passar dos dias, esse calor liberado no processo de hidratação do concreto varia, e à medida que as reações químicas entre a água e o cimento ocorrem a temperatura no interior da estrutura de concreto sofre modificações.

Todo esse ciclo de geração e permanência de calor na estrutura, pode ser explicado a partir do conceito de que o concreto é um compósito que apresenta baixa condutividade térmica, e a medida que aumenta a espessura de suas peças, também aumenta a dificuldade da dissipação do calor interno gerado pelas reações de hidratação.

3.6.2 Idades do concreto

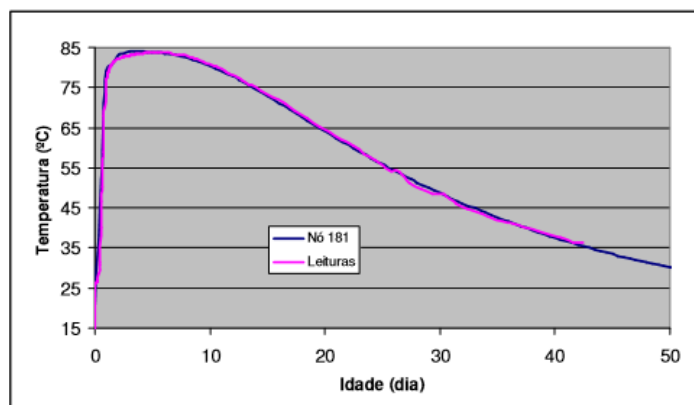
A idade do concreto começa a ser medida a partir do processo de início de pega do concreto, quando o cimento entra em contato com a água e seus agregados, se homogeneizando e dando início ao processo de hidratação.

O processo de hidratação do cimento é iniciado pelo fenômeno conhecido como pega, e demarcam o início das reações de hidratação. Seus efeitos começam a ocorrer 3 horas depois do preparo com concreto, e requer cuidados quanto ao tempo de transporte e aplicação do concreto massa.

Tais cuidados tornam-se necessários, pois autores descrevem um período de no mínimo 8 horas para o fim do tempo de pega, ou quando o concreto começar a apresentar aspecto um tanto resistente e indeformável.

Gambale (2009) ilustra na figura 3.3 como ocorre as variações nas temperaturas geradas pelo concreto.

Figura 3.3: Temperatura do concreto versus tempo.



Fonte: GAMBALE, 2009.

Como observado na figura 3.3 nos primeiros dias de idade do concreto, a temperatura do concreto tende a elevar-se, de modo que no segundo dia de concretagem, sua temperatura possa chegar a um valor extremo, próximo de 85°C. Faria (2004), determinou um tempo de 15 a 20 minutos após o cimento ser dissolvido na água para inicializar esse processo de acréscimo da temperatura.

Nos dias seguintes, a temperatura da peça foi representada por uma queda dos valores dia a dia, até que ela se estabiliza e tende a se igualar com a temperatura do ambiente, estabilizando-se quando chegar ao final de sua hidratação.

Quando o tempo de pega finaliza-se, a cura do concreto continua seus processos de hidratação e ganho de resistência mecânica. A cura foi finalizada quando o concreto atingiu o valor de resistência necessário. Geralmente, esse período é delimitado como 28 dias após o lançamento do concreto. (Neville, 2015)

Entretanto, todos esses valores, de calor de hidratação, início e fim de pega, e tempo de cura do concreto, podem variar dos seus valores padrões se o cimento utilizado não apresentar as características necessárias, podendo interferir alterando a temperatura ideal de hidratação, e acelerando o tempo necessário para ocorrer as reações.

Um desses fatores é com relação à finura do cimento utilizado no preparo do concreto. Visto que, o processo de aceleração das reações possa vir a se propagar mais rápido, à medida que cimentos mais finos sejam usados no preparo.

Segundo Carneiro et al (2011), os problemas causados pela elevação descontrolada do calor de hidratação começam a surgir quando as reações internas começam a diminuir e a temperatura do concreto começa a cair, geralmente no sétimo dia após a concretagem.

Ern e Helene (2003), também destacou que a quantidade de calor gerado pelo concreto, dependem também da quantidade de clínquer presente no cimento e do quão fino ele é, das adições presentes no concreto e da sua composição.

3.6.3 Finura do cimento

Neville (2013) esclareceu a relação da finura do cimento com o calor de hidratação. Segundo ele, o que aconteceu foi que um cimento mais fino tende a hidratar mais rápido, consequentemente mais acelerado acontecerá as reações e maior a taxa de calor gerado.

Por outro lado, Mehta e Monteiro (2008) relataram que o desempenho do concreto em ganho de resistência mecânica pode ser intensificado com a moagem do cimento, em busca de torna-lo mais fino. Esse fator, pode ser explicado pelo fato de que o cimento mais fino pode realizar uma hidratação completa, entretanto, com uma necessidade de água acima do cimento normal.

Para que se tenha um controle de qualidade do concreto, foi necessário alguns limites para a finura do concreto, destacou Mehta e Monteiro (2008). Pedroso Et al. (2016) explicaram a necessidade do controle da relação água cimento, já que, uma relação 0,3 dificulta a trabalhabilidade do concreto, e com o valor de 0,8, o concreto se torna muito fraco.

Diante disso, o ideal é que o cimento tenha uma finura adequada para reagir com uma relação água cimento em torno de 0,4-0,7, que variam de acordo com vários fatores, define Pedroso Et al. (2016).

Diante disso, é importante o controle da finura do cimento utilizado no concreto massa, visto que sua hidratação em peças de altas densidades poderia causar graves problemas devido à dificuldade de propagação de todo o calor gerado no interior da peça até o seu exterior.

3.6.4 Condutividade térmica do cimento

Tais valores de calor produzidos, não seriam problema se o concreto garantisse um controle da sua transferência para o ambiente. Entretanto, com relação a condutividade térmica, o cimento apresenta uma baixa eficiência, produzindo valores de 1,5 a 1,8 W/m/K, segundo Monte Júnior Et. al (2016).

Segundo destacou Neville (2016), sua competência em isolamento térmico durante a hidratação, causou uma elevação de temperatura no interior de peças de alta densidade. Só que, apesar de mal condutor, Neville (2016) explicou que ao mesmo tempo que ocorreram suas

reações internas, uma parte do calor gerado no exterior da peça consegue se dissipar formando um significativo gradiente de temperatura.

Ern e Helene (2003) resumiram que o processo de geração e dissipação de calor do concreto da seguinte forma:

O concreto gera calor após o início da hidratação do cimento, o qual é produzido através de sua massa, emite e reflete calor através de suas faces e, ao fim de certo tempo, dependendo de vários fatores, atinge a temperatura de equilíbrio. (ERN E HELENE, pág. 7, 2003)

Segundo Carlson (1937) apud Ern e Helene (2003), o gradiente térmico é a diferença de temperatura presente em dois pontos de um volume de concreto que estejam a uma certa distância um do outro, e são representados em °C/m.

As reações de hidratação também proporcionam perda de parte da água utilizada no preparo do concreto. Por conta disso, além do fenômeno de gradiente térmico, pode ocorrer também variações no volume no concreto massa, devido processos de exsudação e evaporação da água presente na composição.

3.6.5 Retração do concreto e surgimento de fissuras

Fatores como retração ou compressão térmica podem preceder, e até mesmo alertar, o possível surgimento da fissuração no concreto em massa. Segundo Monte Júnior Et. Al (2016), esses efeitos ocorrem devido ao resfriamento que a peça sofre nas primeiras idades e se inicia logo após a expansão do concreto, resultante da elevação da temperatura gerada pelo calor de hidratação.

Segundo a Téchne (2011), quando essas taxas de elevadas temperaturas do concreto são combinadas com baixa umidade e temperatura elevada ao ambiente, as consequências são mais degradantes pois aumentam as taxas de evaporação.

Além disso, quando o processo de adensamento do concreto não é bem efetuado, pode ocorrer segregação dos materiais e exsudação da água de amassamento. Neville (2013) Com isso, as taxas de evaporação aceleram-se, devido ao fato de estarem mais próximos da superfície da peça, tendo um contato maior com fatores agressivos (vento, sol e umidade).

Quando as reações extrapolam, e as taxas de calor de hidratação se elevam a ponto da relação água cimento sumir e/ou o calor gerado não conseguir se dissipar totalmente para o ambiente, problemas conhecidos como fissuras começa a surgir.

As fissuras são patologias frequentes em estruturas, principalmente nas de grande porte. Isso ocorre, devido ao fato de que concreto tem dificuldade em liberar todo o calor gerado pela hidratação do cimento.

Conforme afirma Monte Júnior Et. Al (2016), o calor gerado que não consegue evadir para o meio ambiente é retido na peça provocando o aumento da temperatura interna, expandindo do concreto, e dando espaço para ranhuras.

Diante disso, percebeu-se a necessidade de obter um controle de temperatura do concreto massa e das taxas de evaporação durante toda a concretagem da estrutura e que segundo a Téchné (2011) promove a redução do surgimento das eventuais fissuras causadas pela retração.

Os problemas de retração podem ser explicados por Lapa (2008), que afirma ser quando a umidade do ambiente está a baixo do nível de saturação da peça, o momento em que concreto está submetido a uma deformação de retração por secagem. O autor ainda afirma que esse ocorre independente do carregamento em que a peça está submetida, e sua principal causa é a perda da água da pasta de cimento.

Segundo Lapa (2008), a retração no concreto pode ocorrer no estado plástico ou endurecido. Sendo que na plástica pode surgir de duas formas, através do assentamento plástico e a retração plástica.

O assentamento plástico está ligado a dois fenômenos de comum ocorrência no concreto: a sedimentação e a exsudação. A sedimentação ocorre a partir da força da ação da gravidade que proporciona a acomodação das partículas. Já a exsudação é definida como a liberação do ar e da água no interior do concreto. (LAPA, 2008)

A sedimentação é responsável por provocar fissuras nas primeiras horas de lançamento, podendo ocorrer devido a presença de obstáculos como: armaduras ou agregados que impedem a movimentação homogênea das partículas sólidas, ou uso excessivo de adensadores, que proporcionam a separação da pasta e do agregado gráúdo.

Já a retração plástica sucedeu-se devido a perda da água do concreto ainda em estado plástico, quando sua superfície está submetida a presença de altas temperaturas vento, e baixa umidade relativa do ar, proporcionando a secagem superficial e podendo levar ao surgimento de fissuras. (LAPA,2008)

Sachs (2012) também vem citar outros problemas decorrentes da falta de controle das taxas de calor de hidratação emitidas pelo cimento, destacando dois problemas imediatos na fabricação do concreto: a fissuração térmica e a etringita retardada.

A autora relatou que a fissuração de origem térmica, é um fenômeno resultante da dificuldade de a resistência a tração superar as tensões de tração causadas pelas quedas de temperatura e pelas restrições a movimentação do concreto.

O segundo, é um fenômeno mais raro. A etringita retardada ou tardia surge no concreto já endurecido e provoca um mecanismo expansivo com consequentes formação de fissuras.

Sachs (2012) relatou a eventualidade do problema com etringita retardada em concretos que tenham ultrapassado temperaturas de 65 °C na sua fase de hidratação é por conta da relação água cimento utilizada no preparo.

Ern e Helene (2003) destacaram que além da escolha do tipo de cimento, fatores como: natureza dos agregados, geometria da peça, tipo de agregado, traço do concreto e condições ambientais (que inclui o clima da região), também são fatores que influenciam diretamente no aumento da geração de calor do concreto.

3.6.6 Agregados

A escolha certa do tipo de agregado é outro fator importante, com base nisso Filho (2013) destacou que melhorias são notórias se for empregado agregados que atribua maior capacidade de deformação do concreto, e se a dimensão máxima do agregado for aumentada, reduzindo a quantidade de cimento no preparo.

Por exemplo, a água contida no agregado que está em uma condição saturada, indica o teor de umidade do mesmo e pode ser definido como a quantidade de água excedente ao peso de um agregado em estado saturado, esclarece Neville (2013).

Neville (2013) esclareceu o caso de agregados expostos a chuva e/ou altas umidades, que acabam absorvendo uma quantidade considerável de água na superfície de suas pilhas e mantêm certa umidade durante um período de tempo.

No caso da areia Neville (2013) citou o efeito do inchamento, que aumenta o volume de uma determinada quantidade de areia e causa o afastamento das partículas resultantes de um filme de água que se forma em torno dos grãos.

O autor relatou que o inchamento não afeta a proporção dos materiais em cálculos de volume, entretanto a areia acaba ocupando um valor de massa menor dentro da padiola, visto que a quantidade de água substitui uma certa quantidade. (Neville, 2013)

Uma técnica que Junior (2013) indicou foi a refrigeração dos materiais utilizados na fabricação do concreto, que podem influenciar na fase de pré-projeto, pois a técnica propõe a

redução do calor gerado pela hidratação, contribuindo positivamente para a fabricação de peças de concreto em grande volume.

3.6.7 Geometria da peça

Anderbergn e Kodur (1997) apud Lima Et al. (2004) explicaram que uma peça de concreto com baixa densidade possui uma quantidade de poros que conseguem suprir a migração do calor para superfície, e transportar a umidade presente no ambiente interno para as camadas mais externas.

Já as peças que possuem uma alta densidade de volume do concreto, a taxa de permeabilidade do calor é menor. Os autores relataram que para esse caso, o calor gerado pelas reações internas do concreto não encontra poros suficientes para atingir a superfície da peça, ocasionando a saturação dos poros e elevando a pressão interna do concreto.

Temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, acabam sendo um contratempo quando a questão é controlar as fissuras e manter a qualidade e a durabilidade do concreto.

Diante disso, surgiu a necessidade do transporte de calor presentes nas peças de altas densidades, para o meio externo. Júnior (2013), relatou que peças de concreto com grandes geometrias requer meios especiais para combater as variações de calor gerado e suas mudanças em volumes, decorrentes de efeitos como retração e evaporação da água de amassamento.

Além dessas características que afetam e interferem nos efeitos internos da estrutura de concreto massa, fatores externos quando não controlados, também contribuem para o descontrole nas taxas de calor e ocasionam as quase inevitáveis patologias.

3.7 EFEITOS EXTERNOS DO CONCRETO

Com relação aos fatores, que podem provocar manifestações patológicas no concreto, podemos ressaltar aqui as mais difíceis de controlar: as que atuam externamente. Quando trata-se desses efeitos, Ganasini (2015) ressalta como sendo as ações do vento, umidade do ar, exposição do sol, e as condições climáticas.

3.7.1 Velocidade do vento e baixa umidade

Um dos principais fatores que admitem a aceleração do tempo de cura do concreto é a velocidade do vento e a umidade do ambiente. Com relação a ação do vento onde as peças estão localizadas, sua intensidade de cura aumentam gradativamente a medida que se afastam do nível do solo.

Em uma pesquisa que comparou a taxa de evaporação da água do concreto e aparecimento de fissuras realizado em diferentes temperaturas e umidades, Valin Jr. E Lima (2008), apresentou os seguintes resultados apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Probabilidade de Fissuras sobre influência de vento e umidade.

EVAPORAÇÃO DA ÁGUA	PROBABILIDADE DE FISSURAS DE RETRAÇÃO	EXEMPLOS
Até 0,5 litro/m³/hora	Não há ocorrência de fissuras	Temperatura Ambiente: 25°C
		Umidade relativa do ar: 60%
		Temperatura do concreto: 25°C
		Velocidade do vento local: 5 km/h
0,1 a 1,2 litro/m³/hora	Alguma probabilidade da ocorrência de fissuras	Temperatura Ambiente: 34°C
		Umidade relativa do ar: 48%
		Temperatura do concreto: 37°C
		Velocidade do vento local: 10 km/h
> 1,5 litro/m³/hora	100% da probabilidade da ocorrência de fissuras	Temperatura Ambiente: 25°C
		Umidade relativa do ar: 40%
		Temperatura do concreto: 30°C
		Velocidade do vento local: 25 km/h

Fonte: Clube do Concreto (2014).

Comparando os valores experimentais apresentados na tabela 3.3, tivemos para um valor de umidade de 60%, e o valor de velocidade do vento 5 km/h, uma taxa de evaporação da água de amassamento de até 0,5 litro/m³/hora, o que contribuiu para que não ocorresse nenhuma fissuras, tornando a probabilidade de surgimento dessas patologias quase que nulas quando o concreto estiver submetido a ambientes com essas características.

Entretanto, quando o concreto massa se submeteu a ambientes onde a umidade em relação ao valor anterior diminui chegando a 40%, e a velocidade do vento aumentou atingindo 25 km/h, as taxas de evaporação da água crescem, podendo ultrapassar valores maiores do que 1,5 litro/m³/hora, e atingem uma probabilidade de 100% para ocorrência de fissuras.

A importância da avaliação dos valores de umidade e velocidade do vento do ambiente é de suma importância, e qualquer alteração não deve ser ignorada. Diante dessa afirmação, o Clube do Concreto (2014), afirmou que as taxas de evaporação da umidade presente no concreto recém aplicado, aumenta em até quatro vezes quando a velocidade do vento varia de zero para 15 km/h em um dia quente.

3.7.2 Raios solares

Quando o calor do sol é somado com o gerado pelas reação exotérmicas interna, tende a causar um aumento considerável da temperatura do concreto massa.

Carneiro Et. al (2011) explicou que é possível que a temperatura devido ao calor de hidratação tenha sido calculada e controlada com algumas alternativas, mas o contato da peça com o calor externo afete a estrutura de maneira indesejada, podendo provocar retração e possíveis fissuras na peça.

Para isto, o Clube do Concreto (2014), afirmou que concretagem em dias quentes e que estejam em contato com radiações solares devem utilizar técnicas que permitam a presença da água até o fim do seu processo de hidratação.

Asamix (2013) esclareceu a importância da concretagem das peças em horários onde não prevaleçam altas temperaturas (na região semiárida, nos finais da tarde ou à noite), manter as fôrmas bem molhadas evitando absorção da água do concreto, realizar atentamente os processos de cura do concreto evitando a perda da água.

Para garantir que os valores de resistência sejam obtidos, foi necessário que a presença de água seja suficiente para a hidratação do cimento favorecendo a realização das reações químicas, e mantendo o controle do aumento da temperatura do concreto massa.

Quanto ao valor de temperatura ideal que o concreto deve estar para sua hidratação, o Clube do Concreto (2014), afirmou que 23 °C é o adequado, e destacou a importância de manter o valor até o fim da hidratação.

3.7.3 Clima

Quando o concreto foi fabricado em regiões onde os dias apresentam uma temperatura a baixo de 15°C, Campos (2017), esclareceu que a temperatura reduzida retarda o endurecimento do concreto, o que afetou e prejudica a resistência do concreto. Um dos principais prejudicados são as indústrias de pré-moldados que precisam de desformas rápidas, destaca a autora.

Campos (2017) destacou que casos mais extremos, com temperaturas a baixo de 10°C, o concreto pode sofrer uma paralisação no início da pega, o que impossibilitando as reações do concreto, ocasionando a permanência do concreto no estado fresco.

Em regiões onde foi frequente dias quentes, a influência do clima na hidratação do concreto afeta de outra forma. Campos (2017) esclareceu que o calor do ambiente agilizou a evaporação da água, retraindo o concreto e consequentemente gerando fissuras.

Além disso, o calor pode encurtar o tempo de pega, que pode vir a começar ainda no seu transporte. Além disso, o calor não é o único responsável pela redução da relação água/cimento pela evaporação, cuidados com a umidade do ar e velocidade do vento também devem ser levadas em conta, principalmente em regiões onde climas com essas características são predominantes.

3.8 FISSURAS

Todos esses fatores, sejam eles de característica interna ou externa ao concreto, contribuem negativamente para a formação de malfeitorias no concreto. Esses problemas são patologias definidas como fissuras.

Com o descontrole das reações de hidratações aceleradas pelo calor do ambiente, principalmente em regiões semiáridas do Brasil, a peça de concreto começa a sofrer retração, que surge através de alguns efeitos característicos da hidratação do cimento decorrentes do contato da água com o aglomerante.

Essas retrações podem ser caracterizada como dois tipos: a térmica e a plástica, esclarece Neville (2013). A retração térmica, surge a partir do resfriamento do concreto massa após ele atingir uma temperatura de pico. Já a retração plástica, é causada pela perda de água por evaporação da superfície do concreto ou pela sucção do concreto seco.

Santos (2016) destaca que esse problema começa a surgir desde as primeiras idades, e quando o concreto começa a se retraindo, e surgem tensões de tração que ultrapassaram os valores da capacidade de resistência mecânica do concreto.

Diante disso, Monte Júnior Et. Al (2016) destacou ser através dessas deformações na superfícies da estrutura, que tornam-se visualmente aparente o surgimento de aberturas de ranhuras que podem apresentar-se em diferentes posições.

Essas aberturas tornam-se estimulador a percolação da água e sobre elas, iniciando o processo de lixiviação dos produtos presentes no concreto e corrosão da armaduras, que afetam diretamente na durabilidade, aparência e resistência do concreto armado.

Buscando evitar o surgimento de fissuras resultantes dos efeitos de gradientes térmicos Ern e Helene (2003) recomendam que os valores de temperaturas não extrapolem mais do que 2 pontos além de 25°C/m. Já no concreto armado, onde segundo os autores as armaduras tem a função de restringir o movimento da massa de concreto, menciona-se que as fissuras são mais frequentes em temperaturas a cima de 35°C/m.

Com base na dimensão das aberturas de fissuras, a NBR 6118/2014, que aberturas que possuem dimensão em torno de 0,3 mm ou 0,4 mm corresponde a um limite de desconforto humano. Isso implica em caracterizar um limite de quando as fissuras passam a ter aspecto de insegurança nas pessoas.

Por conta disso, a retração do concreto decorrentes de processos como a evaporação, torna-se um fator ímpar no surgimento das fissuras. Para isso o processo de cura torna-se tão necessário pra garantir uma maior vida útil da estrutura.

Neville (2013) destacou que o período de cura não pode ser facilmente definido, pois ele depende de algumas características dos materiais utilizados. Um deles é quanto ao tipo de aglomerante e temperatura ambiente. Se o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) e a temperatura ambiente é maior do que 10 °C, é necessário uma cura de no mínimo 3 dias.

Já um concreto que utilizou cimento Portland comum (CP I), a uma temperatura maior do que 10 °C, deve ser realizado uma cura mínima de 7 dias. Para os concretos com uso de cimento Portland de baixo calor de hidratação (CP IV) à 10 °C, devem ser utilizados uma cura mínima de 14 dias, destaca Neville (2013)

Quando ao processo de execução, a cura úmida pode ser realizada através de alguns métodos, como: regar a superfície do concreto com água e/ou proteger a superfície molhada com lonas plásticas.

3.9 CONCRETO RESFRIADO

Conforme define a UFPR (2007), concreto resfriado é aquele que tem gelo adicionado em sua composição, substituindo parcialmente ou totalmente a sua quantidade de água de dosagem, e proporcionando uma redução na sua temperatura de lançamento.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), dentro todos os componentes do concreto a água de amassamento tem o maior efeito na temperatura de concreto por unidade de peso. Diante disso, a utilização da água de amassamento resfriada ou em formato de gelo na mistura é a melhor forma de reduzir a temperatura, visto que, o gelo é capaz de absorver 80 cal/g ao derreter.

Nicola (2010), esclareceu ser necessário que o gelo seja moído e mantido em caminhões frigoríficos próximos a central dosadora de preparo. Além disso, ele só deve ser adicionado momentos antes do seu transporte, devido a necessidade de manter o máximo de tempo possível a temperatura reduzida necessária para uso.

Silva, Vieira e Santos (2009), ressaltaram também, a importância de um planejamento de obras sem falhas, visto que, atrasos ou erros na hora da execução influenciam significativamente na perda de eficiência do concreto resfriado.

Além da utilização de gelo no preparo, Silva, Vieira e Santos (2009), esclareceram a importância do resfriamento dos agregados antes de serem adicionados na mistura. Os autores, dizem que quando realizado os dois processos (uso de gelo e resfriamento dos agregados) o concreto resfriado no momento da sua aplicação tem uma facilidade maior de manter temperaturas variantes de 15 a 20°C.

A utilização do concreto resfriado, tornou-se necessária a partir do surgimento de construções de obras de grande porte, como: hidrelétricas, barragens, fundações de grandes dimensões, entre outras peças onde se concentrem altos volumes de concreto.

A principal finalidade da utilização do gelo no concreto, é a de reduzir tensões de origem térmicas presentes no interior da peça concretada, com o objetivo de evitar sua elevação de modo que não se intensifique e não ultrapasse o limite da sua capacidade resistente, evitando o surgimento de trincas ou rachaduras que comprometem a vida útil da peça. (UFRP, 2007)

Segundo Monte Junior (2016) além dos coeficientes que influenciam no aumento da temperatura final do concreto, fatores ambiental influenciam para a perda de água através da evaporação, como por exemplo, as condições climáticas no dia da concretagem.

Além de controlar as reações térmicas, o gelo garante um tempo maior de trabalhabilidade do concreto, evolui melhor quanto a sua resistência a compressão e reduz as taxas de surgimento de fissuras referentes a questões térmicas. (UFRP,2007)

Segundo Nicola (2010), a redução das tensões térmicas resultante das reduções do calor de hidratação, são intensas nas primeiras horas e sua aplicação é ideal para fabricação de concreto com alto consumo de cimento.

3.9.1 Principais Vantagens

- a) Redução do calor de hidratação: A presença do gelo proporciona o resfriamento do concreto provocando a ocorrência do calor de hidratação do cimento mais lentamente com liberação de taxas de temperaturas mais reduzidas em relação aos valores de concretos convencionais.
- b) Redução do surgimento de fissuras: O principal motivo para a criação do método, surgiu justamente do interesse de reduzir o surgimento de fissuras. Silva, Vieira e Santos (2009), esclarecem que o método de introdução da água de amassamento em forma de gelo no concreto, veio com o interesse de mostrar a eficiência e a probabilidade do surgimento de fissuras serem menor do que o método convencional.

4. METODOLOGIA

A literatura do presente trabalho foi realizado através de métodos quantitativos e qualitativos. Como método qualitativo, utilizou-se técnicas de levantamentos bibliográficos de teses, monografias, artigos e revistas científicos.

Segundo Patton (2002) apud Terence e Filho (2006) a abordagem qualitativa procura compreender a literatura sem focar em representações numéricas, generalizações estatísticas e relações lineares de causa e efeito, enquanto a análise quantitativa enfoca.

Diante disso, a avaliação quantitativa foi retratada por meio de tabelas e gráficos estatísticos, que apresentaram resultados de pesquisas presentes em literaturas, e além disso, dados colhidos, com o intuito de apresentar resultados do presente trabalho.

Quando aos dados, foram avaliadas características e variações de temperatura a partir da montagem de dois blocos maciços de 0,036 m³, cada um contendo como dimensão: 0,30 m de altura, 0,30 m de espessura, e 0,40 m de largura.

Segundo Pacelli (1981), a temperatura do concreto fresco é um dos aspectos mais importantes a serem analisados a fim de reduzir a temperatura máxima alcançada. É mais econômico, na maioria dos casos, dar preferência na diminuição da temperatura de lançamento do que executar muitas camadas de concretagem, já que para a concretagem de cada camada deve ser respeitado um tempo, o que é muito negativo para as construtoras.

Como não existe nenhuma norma regulamentadora sobre a confecção do concreto resfriado foi utilizado os princípios da termodinâmica. Onde um percentual da água foi adicionado em gelo e parte em água.

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o cálculo do traço dos blocos de concreto foi utilizado o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em massa, estabelecendo assim seu traço em 1:1,49:2,22:0,44 (cimento; areia; brita; água) para o concreto convencional que fez o uso de cimento Portland ARI. Quanto ao segundo bloco foi o de concreto resfriado, produzido através do traço: 1:1,40:2,22:0,44 e utilizando o cimento Portland de baixa resistência (IV).

Os dois tipos de concreto massa, utilizaram agregado graúdo de dimensão 19 mm, areia e para melhorar a mistura do concreto dos materiais do concreto resfriado foi utilizado 25% de sua água de amassamento em estado líquido, e 75% em estado sólido com gelo utilizado em forma de escama.

O processo de dosagem do concreto para obtenção do traço, foi realizado pelo método ABCP- Associação Brasileira de Concreto Portland, o qual é característico de uma adaptação do método da ACI 211.1-81 (Standart Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete - 1985), no qual considerou tabelas e gráficos elaborados a partir de informações experimentais, que permitem a utilização dos agregados que se enquadram nos limites propostos pela norma NBR 7211/83- Agregados para Concreto, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (CLUBE CO CONCRETO, 2015)

Algumas características dos materiais e seus respectivos valores são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características dos aglomerantes, agregados e relação água cimento.

TIPO DE CIMENTO					
CP IV - 32			CP V- ARI		
$\gamma = 2820$		Kg/m ³	$\gamma = 3120$		Kg/m ³
Areia			Areia		
MF	2,6		MF	2,6	
Inchamento	30%		Inchamento	30%	
$\gamma = 2650$		Kg/m ³	$\gamma = 2650$		Kg/m ³
Brita			Brita		
Quantidade	100%		Quantidade	100%	
Tipo	1	19 mm	Tipo	1	19 mm
$\gamma = 2700$		Kg/m ³	$\gamma = 2700$		Kg/m ³

Fonte: Autora, 2017.

A principal diferença entre o uso do cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI) com o cimento Portland de baixa resistência (CPIV), é que enquanto o CPIV tem um controle maior de suas hidratações, o CPV possui peculiaridade de atingir altas resistências nos primeiros dias da aplicação, elevando suas taxas de calor devido essa hidratação acelerada.

O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila para a produção de clínquer, de modo que, ao reagir com a água ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (Boletim Técnico, 2002).

A tabela 4.2 e 4.3 mostram as características dos tipos de cimento utilizados na pesquisa conforme a NBR 5736, quanto ao ganho de valores de resistência com o passar dos dias.

Tabela 4.2: Características cimento Portland de baixo calor de hidratação - CPIV-32.

Características e Propriedades		Unidade	Cimento CPIV-32
Tempo de início Pega		H	1
RESISTÊNCIA	3 dias	Mpa	10,0
	7 dias	Mpa	20,0
	21 dias	Mpa	30,0

Fonte: NBR 5736/1991, adaptada.

Tabela 4.3: Características cimento Portland de alta resistência inicial - CPV-ARI.

Características e Propriedades		Unidade	Cimento CPV-ARI
Tempo de início Pega		H	1,0
RESISTÊNCIA	3 dias	Mpa	14,0
	7 dias	Mpa	24,0
	21 dias	Mpa	34,0

Fonte: NBR 5733/1991, adaptada.

Quanto aos materiais utilizados no preparo dos dois blocos de concreto massa, obteve-se:

- Areia: Foi utilizado como agregado miúdo areia fina com dimensão máxima de 600 μm . Visando melhorar o comportamento do concreto durante a mistura.
- Brita: Foi utilizada brita de 19 mm conforme os cálculos da dosagem do método ABCP. Através da relação a/c e a resistência pretendida ou de projeto.
- Cimento: Utilizou-se de dois tipos: o cimento Portland de baixo calor de hidratação (CPIV), e o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI).
- Fôrmas: Para moldagem dos blocos, foram necessários duas caixas de madeira compensada, com as dimensões de 0,3m x 0,3m x 0,4m.
- Pesagem: Para pesar toda a massa dos materiais estabelecidas em dosagem para o preparo do concreto, foi utilizado uma balança com precisão máxima de 16 quilogramas, da marca Bel Engineering.
- Multímetros: Para medição das temperaturas, foi necessário a utilização de três multímetros, dois deles da marca Agilent modelo U1252B, contendo apenas um termopar ligado a ele. Sua utilização foi destinada as extremidades do bloco. Para a medição da temperatura presente no centro do bloco, foi utilizado um multímetro da marca Missipa modelo MT-455, tendo interligados a eles 2 fios de termopar, o que garantia maior precisão.

- g) Canos de ferro galvanizado: Para auxílio a medição das temperaturas no interior do bloco, foi adicionado três canos de ferro galvanizado com 25 mm de diâmetro e 0,50 metros de comprimento, que foram inseridos no interior dos blocos (um no centro e dois nas extremidades) com o intuito de proporcionar a passagem dos termopares para realização de suas medições.
- h) Desmoldante: Para facilitar o desmolde dos blocos de concreto das formas, foi utilizado óleo diesel queimado, aplicado nas formas com o auxílio de papel toalha.
- i) Gelo: O tipo de gelo utilizado para a mistura, foi o gelo em escamas pois o uso de gelo na forma de cilindros vazados ou cubos implica em um tempo maior de mistura na betoneira para a sua completa dissolução.

Os valores dos materiais utilizados no preparo do dois tipos de concreto, são apresentados na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Quantidade de materiais utilizados na fabricação dos blocos de concreto massa.

TIPO DE CIMENTO			
CP IV - 32		CP V- ARI	
16,77	Kg	16,77	Kg
Areia		Areia	
23,48	Kg	24,99	Kg
Brita		Brita	
37,23	Kg	37,23	Kg
Água		Água	
2,46	Kg	7,38	Kg
Gelo		Gelo	
4,92	Kg	0	Kg

Fonte: Autora, 2017.

A mistura foi realizada mecanicamente como a utilização de uma betoneira de 450 litros. Para ambos os blocos foi adicionada inicialmente a água, e em seguida a brita. E, em seguida acionada a betoneira para homogeneizar os dois materiais.

Após homogeneizados os dois primeiros materiais, foi adicionado a quantidade de cimento e logo após a areia, e ligada novamente a betoneira, para retornar o processo de mistura. Para o bloco de concreto resfriado o gelo foi acionado logo em seguida da água, e somente depois acionado a betoneira para começar o processo de homogeneização e preparação do concreto massa.

Em seguida à sua moldagem, os blocos foram mantidos durante todo tempo de medições no canteiro de obras da construção do restaurante universitário da UFERSA- Campus Multidisciplinar Pau dos Ferros, onde puderam estar expostos a todas as características ambientais da região (vento, temperatura e umidade). Os blocos logo após fabricados, são ilustrados na figura 4.1.

Figura 4.1: Bloco de concreto resfriado (à esquerda da imagem) e bloco de concreto de alta resistência inicial (à direita da imagem).



Fonte: Autora, 2017.

No primeiro dia de medição, foram colhidos quatorze valores de temperatura nas primeiras 24 horas, baseados na pesquisa de Faria (2004), que esclarece ser nos primeiros dias os acréscimos significativos de temperatura até chegar em seu pico, e nos dias seguintes os decréscimos ou temperaturas constantes.

Nos dias seguintes, as temperaturas dos blocos foram medidas diariamente, buscando avaliar sua estabilização, pequenas, ou grandes variações quanto aos valores de temperatura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tempo de pega é definido com o momento em que a pasta de cimento começa a ganhar consistência e a endurecer. De modo simplificado, é o momento em que ela passa de estado fluído para o estado rígido.

Esse momento de realização da pega é provocado pela hidratação de alguns compostos presente na composição do cimento, que segundo Neville (2013) são conhecidos como Alita (C3A) e Aluminato de Cálcio (C3S).

Neville (2013) explique que o início da pega corresponde a uma rápida elevação de temperatura, decorrente da presença do cimento no concreto. Quanto ao pico de temperatura, ele surge ao final da pega, e pode continuar a aumentar gradativamente.

Neville (2013) diz que ensaios laboratoriais comprovam que o tempo de pega para concretos de 32 Mpa, justamente o tipo utilizado em pesquisa, iniciam sua pega em um tempo máximo de 60 minutos. Quanto ao tempo de fim de pega, o autor afirma que algumas normas britânicas estabelecem que ele deve ocorrer em um tempo máximo de 10 horas para Cimentos Portland.

Levando em consideração as idades do concreto, onde Andrade (1997) apud Farias (2004) comprova em sua pesquisa que o pico de temperaturas do concreto decorrentes da sua hidratação apresentam-se nos dois primeiros dias, e depois estabilizam-se. Com isso, o presente trabalho realizou quatorze medições, que foram divididas em diferentes horários durante os primeiros dois dias após a concretagem dos blocos, e a partir disso os resultados são apresentados a seguinte, na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Medições do bloco de Concreto ARI, primeiros dois dias de concretagem

CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL			
HORÁRIO	LATERAL ESQUERDA (°C)	MEIO DO BLOCO (°C)	LATERAL DIREITA (°C)
DIA 15/09/2017			
15:30	28.6	30.3	28.9
16:30	30.5	31.1	30.8
17:30	32.0	32.3	32.2
18:30	34.0	34.8	33.8
19:30	35.1	35.4	35.2
20:30	28.1	30.5	28.4
21:30	29.4	32.1	29.6
Dia 16/09/2017			
10:30	33.7	35.2	33.6
11:30	35.0	35.5	35.1
12:30	37.4	38.8	36.6
13:30	37.2	38.6	36.4
14:30	36.5	38.5	36.5
15:30	35.9	37.9	36.3
16:30	35.3	37.6	35.6

Fonte: Autora, 2017.

Imediatamente após a concretagem do bloco que utilizava o Cimento Portland de Alta Resistência inicial, obteve-se uma temperatura de 30.3 °C. O pico de temperatura apresentado nas medições aconteceu 18 horas após a concretagem, apresentando o valor de 38.8 °C às 12:30 da tarde.

Esse fator comprovou a teoria de Faria (2004), que relata em gráficos de ensaios ser a partir de 2 dias os acréscimos significados no ganho de temperatura com concreto. O autor comprova que nos dias seguintes o concreto sofre um pico de temperatura, e é durante esse acréscimo de temperatura que o concreto pode vir a sofrer os efeitos fissuração térmica quando não controlado.

Além das hidratações internas, esse valor também pode conter influência do ambiente externo, como por exemplo, da presença do elevado valor de temperatura do ambiente nitidamente presente nos períodos da tarde.

Visto que a temperatura do ambiente, a baixa umidade e os altos índices de raios solares, acabam que influenciando para o aumento da temperatura do concreto e aumento das taxas de hidratações.

Quanto ao concreto resfriado, outras análises foram permitidas, e seus valores estão devidamente ilustrados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Medições do bloco de Concreto Resfriado, primeiros 2 dias de concretagem.

CONCRETO RESFRIADO			
HORÁRIO	LATERAL ESQUERDA (°C)	MEIO DO BLOCO (°C)	LATERAL DIREITA (°C)
DIA 15/09/2017			
15:30	19.5	19.6	19.4
16:30	21.1	21.4	21.1
17:30	22.2	22.3	22.1
18:30	24.4	23.4	24.1
19:30	27.9	28.5	27.2
20:30	28.1	30.5	28.4
21:30	29.4	32.1	29.6
Dia 16/09/2017			
10:30	31.9	34.9	31.6
11:30	32.3	35.6	32.5
12:30	33.1	35.8	32.9
13:30	33.3	35.9	33.0
14:30	33.4	36.1	33.3
15:30	32.6	35.5	32.8
16:30	32.4	34.9	32.5

Fonte: Autora, 2017.

Dentre as análises, pode-se perceber a diferença de temperatura do concreto massa após a sua fabricação e moldagem do bloco. A distinção da temperatura do Concreto Resfriado era de menos 10 °C do valor do valor do Concreto de Alta Resistência Inicial, fator este que pode influenciar significativamente no controle das taxas de hidratação.

Quanto ao pico de temperatura, ela surgiu 23 horas após sua concretagem. Isso possa ter ocorrido, devido o gelo garantir um controle maior das reações e da emissão do calor produzido, permitindo sua elevação de uma forma mais lenta, a partir do efeito do derretimento do gelo presente no concreto massa.

É importante ressaltar também, o fato de que mais uma vez o pico de temperatura apresentou-se em um dos horários mais quentes da região semiárida, o período da tarde. O que de fato, pode-se também levar em consideração, a possível influência da temperatura relatou Faria (2004) em sua pesquisa, após os primeiros dias de concretagem o concreto sofre um pico em sua temperatura decorrente das ações de hidratação do cimento, mas nos dias seguintes esses valores decaem ou estabilizam.

Com base nisso, nos dias seguintes optou-se por medições diárias, que sempre aconteciam nos períodos da manhã, onde o clima não apresentavam temperaturas muito altas, e os raios solares ainda não se encontravam tão intensos de modo que pudesse influencia no ganho de calor na peça atribuindo temperatura ambiente ao concreto.

A Tabela 5.3 ilustra um comparativo do avanço dos dois tipos de concreto durante os cinco primeiros dias.

Tabela 5.3: Temperaturas dos primeiros cinco dias após concretagem dos blocos.

CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA				CONCRETO RESFRIADO		
LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)	HORÁRIO	LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)
Dia 16/09/2017				Dia 16/09/2017		
38.3	41.3	38.0	10:30	31.9	34.9	31.6
Dia 17/09/2017				Dia 17/09/2017		
36.5	38.8	36.4	10:30	31.7	33.5	31.9
Dia 18/09/2017				Dia 18/09/2017		
35.3	35.9	35.5	10:30	30.2	32.8	30.6
Dia 19/09/2017				Dia 19/09/2017		
31.2	33.5	34.3	10:30	30.9	32.7	30.2
Dia 20/09/2017				Dia 20/09/2017		
29.0	30.9	30.2	10:30	28.0	30.8	28.7

Fonte: Autora, 2017.

Como pode-se observar, o bloco de Concreto de Alta Resistencia Inicial, quase três dias depois de sua concretagem, apresentou o seu valor máximo, apresentando em se centro uma temperatura de 41.3 °C, e em suas extremidades, valores de 38. 3 e 38.0 °C, respectivamente da esquerda pra direta do bloco. Esse fator ocorre por que o cimento nessa idade chega a sua taxa máxima de hidratação e liberação de calor decorrentes das suas reações químicas.

Comprova-se então, que o pico de temperatura do concreto veio de fato ocorreu por volta do valor estabelecido como base a pesquisa de Faria (2004), que comprovou um aumento de temperatura até 5-10 dias de sua concretagem (dependendo do tipo de cimento utilizado). O valor de pico da presente pesquisa foi obtido a 2 dias e 17 horas da realização de sua concretagem.

É importante ressaltar o porquê da variação de alguns valores das extremidades do bloco de Concreto ARI. Possivelmente, possam ser característicos de formas diferentes de dissipação.

Quanto aos valores das temperaturas, se compararmos os valores de temperatura do concreto resfriado da tabela 4.3 com os valores presentes na 4.2, no primeiro dia de medição tivemos um valor máximo de 34.9 °C, e nos dias seguintes os valores apresentavam um decaimento, finalizando em 30.9 °C.

Esses valores são resultados da redução das taxas de hidratação do cimento, que com o passar dos dias tendem a diminuir. Apesar das suas variações, a diferença de uma temperatura para a outro do dia seguinte não apresentam valores discrepantes.

De fato esse comportamento já é esperado, visto que, após a temperatura do cimento atingir um valor elevado conhecido como o pico da temperatura, as reações de hidratação podem diminuir, e com isso o calor de hidratação do concreto também se reduz.

A seguir, a Tabela 5.4 que apresenta os dados de mais algumas medições correspondente aos dias que vão do 6º ao 10º dia de medição:

Tabela 5.4: Temperaturas do sexto ao décimo dia após concretagem dos blocos.

CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA				CONCRETO RESFRIADO		
LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)	HORÁRIO	LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)
Dia 21/09/2017				Dia 21/09/2017		
28.6	31.3	28.8	10:30	28.3	31.0	27.8
Dia 22/09/2017				Dia 22/09/2017		
32.4	33.5	32.6	10:30	33.0	33.3	32.2
Dia 23/09/2017				Dia 23/09/2017		
29.3	30.5	29.4	10:30	28.9	30.3	29.4
Dia 24/09/2017				Dia 24/09/2017		
30.7	32.2	30.5	10:30	29.8	31.3	30.2
Dia 25/09/2017				Dia 25/09/2017		
30.9	34.0	30.7	10:30	30.3	33.6	32.7

Fonte: Autora, 2017.

Como observado nos dados tabelados, as medições sofreram algumas variações que determinam acréscimo e decréscimo de valores. O sexto e sétimo dia é representado por uma elevação no valor de temperatura, apresentando respectivamente os valores de 31.0 °C e 33.3 °C no centro do bloco de concreto resfriado e de 31.3 °C e 33.5 °C no centro do bloco de concreto ARI.

Da oitava medição em diante houve queda nos valores, apresentando respectivamente 30.3°C, 31.3°C e 33.6°C no centro do bloco de concreto resfriado e 30.5°C, 32.2°C e 34.0°C no centro do bloco de concreto ARI.

Possivelmente essas elevações de temperatura, podem ter sido decorrentes de influência dos fatores externos, mencionados anteriormente. Outro ponto importante a se questionar, é a aproximação de valores entre os dois tipos de blocos, também mostrados nas tabelas.

Nos dados das idades iniciais dos blocos, era discrepante as diferenças de valores de temperaturas do concreto, entretanto, após 5 dias de concretagem (tabela 5.3), os valores de temperatura do concreto de alta resistência inicial com 30.9°C e o Concreto Fresco com 30.8 °C, apresentaram grandezas quase que iguais, mesmo que o concreto resfriado ainda tivesse disposto de uma temperatura menor.

Possivelmente isso ocorre por que o cimento CP IV utilizado no preparo do concreto resfriado, e o CP V- ARI, apresentam taxas de hidratações com pequenas variações, sendo o CP IV ainda o de menor calor de hidratação. (NEVILLE, 2015)

Além disso, outro fator deve ser mencionado, o gelo presente na mistura do concreto resfriado permite controle da temperatura apenas nos primeiros dias pois o gelo derrete a medida que o calor aumenta. Sua utilização ainda garante vantagens, por que é justamente nos primeiros dia onde as taxas de hidratação são maiores, ocorrendo o pico calor de hidratação e submetendo o concreto ao risco de fissuras térmicas.

Diante disso, notou-se que o concreto resfriado apresenta suas vantagens apenas nas idades iniciais à fabricação do concreto massa. Sua principal função decorrente desse controle de temperaturas nas idades iniciais, é justamente garantir que não ocorra fissuração térmica.

A fissuração térmica ocorre após as temperaturas de pico causadas pela hidratação do concreto cair, e não haver um controle das ações de retração do concreto logo após seu processo de resfriamento.

A presença do gelo no concreto, possivelmente controla a temperatura de lançamento do concreto fresco, evitando grandes diferenciais de temperatura entre partes do concreto massa, maneja as taxas de calor de hidratação e as distribui da melhor forma, buscando dissipá-las gradativamente.

É importante relatar, que após a fissuração térmica, pode surgir a fissuração por retração, afirma Neville (2013), decorrentes da evaporação da água do concreto. Diante disso, temos mais uma vantagem do Concreto Resfriado, pois ele, acaba garantindo a presença da água por mais tempo nas suas idades iniciais, a partir da água que provém do degelo gradativo.

A seguir, a Tabela 5.5 nos apresenta os valores do décimo primeiro ao décimo quinto dia de medição.

Tabela 5.5: Temperaturas do décimo primeiro ao décimo quinto dia após concretagem dos blocos.

CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA				CONCRETO RESFRIADO		
LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)	HORÁRIO	LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)
Dia 26/09/2017				Dia 26/09/2017		
31.7	36.3	33.5	10:30	31.5	33.5	31.7
Dia 27/09/2017				Dia 27/09/2017		
30.9	35.0	32.7	10:30	30.2	32.7	30.5
Dia 28/09/2017				Dia 28/09/2017		
31.2	34.2	31.4	10:30	29.6	31.9	29.3
Dia 29/09/2017				Dia 29/09/2017		
29.9	33.7	30.7	10:30	28.3	31.5	28.0
Dia 30/09/2017				Dia 30/09/2017		
27.5	32.1	28.9	10:30	28.1	30.8	28.1

Fonte: Autora, 2017.

As medições apresentam as mesmas variações, oscilando entre acréscimos e decréscimos de temperaturas, mesmo que pequenos. Como já mencionado, talvez devido a exposição do bloco em dias mais quentes. Além disso, é importante mencionar que apesar das variações de temperaturas, o bloco de Concreto Resfriado em suma maioria, apresentou valores menores do que o bloco de Concreto ARI.

Além disso, é importante mencionar, que apesar das diferenças entre as variações, os valores não chegam a ser exorbitantes, estando sempre em uma escala que varia de 30 à 36 °C. A diante, a Tabela 5.6 vem representar as medições realizadas do décimo sexto ao vigésimo do dia.

Tabela 5.6: Temperaturas do décimo sexto ao vigésimo dia após concretagem dos blocos.

CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA				CONCRETO RESFRIADO		
LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)	HORÁRIO	LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)
Dia 01/10/2017				Dia 01/10/2017		
27.6	29.9	27.6	10:30	26.8	30.9	28.7
Dia 02/10/2017				Dia 02/10/2017		
27.4	29.1	28.1	10:30	26.4	29.5	28.1
Dia 03/10/2017				Dia 03/10/2017		
29.9	31.1	29.8	10:30	28.3	30.3	28.4
Dia 04/10/2017				Dia 04/10/2017		
32.3	33.6	31.5	10:30	32.7	33.0	33.1
Dia 05/10/2017				Dia 05/10/2017		
30.3	32.2	30.1	10:30	28.4	31.8	28.9

Fonte: Autora, 2017.

Na Tabela 5.6, nota-se que as variações continuam, uns dias os valores de temperatura aumenta, em outros eles. Em comparação com a tabela 5.5, os valores de temperaturas obtiveram uma queda no início, mas logo tornaram-se a aumentar nos dias 04 e 05 de outubro, justamente por que nesses dias de medição o aspecto do clima se encontravam mais quentes.

Apesar disto, o concreto resfriado, ainda assim, apresentou valores de temperatura mais eficientes do que o concreto ARI. E suas variações não passaram de 4°C de diferença quanto as temperaturas do centro do bloco, obtendo como máxima temperatura o concreto ARI no dia 04 de outubro de 2017, com 33.6 °C, e como mínima o concreto resfriado no dia 02 de Outubro de 2017, com 29.5 °C.

A Tabela 5.7, apresenta os valores de temperatura apresentados pelos blocos do vigésimo primeiro ao vigésimo quinto dia.

Tabela 5.7: Temperaturas do vigésimo primeiro ao vigésimo quinto dia após concretagem dos blocos

CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA				CONCRETO RESFRIADO		
LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)	HORÁRIO	LAT. ESQ. (°C)	MEIO (°C)	LAT. DIR. (°C)
Dia 06/10/2017				Dia 06/10/2017		
31.4	32.6	30.1	10:30	30.4	31.6	30.2
Dia 07/10/2017				Dia 07/10/2017		
31.7	33.4	31.9	10:30	30.4	32.2	30.8
Dia 08/10/2017				Dia 08/10/2017		
32.5	33.8	32.7	10:30	31.4	32.7	31.4
Dia 09/10/2017				Dia 09/10/2017		
32.2	35.0	33.7	10:30	32.6	34.7	32.7
Dia 10/10/2017				Dia 10/10/2017		
34.0	34.8	34.6	10:30	33.0	34.7	33.1

Fonte: Autora, 2017.

A Tabela 5.7 apresenta alguns acréscimos de temperatura no concreto com o passar dos dias. Do vigésimo primeiro ao vigésimo quarto dia, o centro do bloco de concreto ARI partiu de 32.6 °C para 33.4 °C, e no vigésimo quinto dia caiu para 34.8 °C.

Quanto ao centro do bloco de concreto resfriado, ele apresenta aumentos de 31.6°C a 34.7 °C do vigésimo primeiro ao vigésimo quarto dia, e no vigésimo quinto dia permanece com o valor de 34.7 °C no dia anterior.

É uma característica importante, visto que os blocos se encontram a 21 dias da sua concretagem. Um fator que pode justificar essas variações de valores, é o aumento da temperatura do ambiente que, como já relatado, sabe-se que influencia no valor da temperatura do concreto massa.

Outro fato que deve ser retratado, foi a diferença significativa dos valores do centro da peça e os valores de suas extremidades. Como notado por exemplo na medição do dia 08 de outubro, o concreto resfriado apresentou no centro do bloco uma temperatura de 32.7 °C e nas suas extremidades um valor de 31.4 °C.

Já o concreto ARI apresentou 33.8°C no centro do bloco e 32.5°C na extremidade direita e 31.7°C na extremidade esquerda do bloco. A diferença apresentada nos valores das extremidades podem ser resultantes de uma distinta forma de troca de calor com o ambiente.

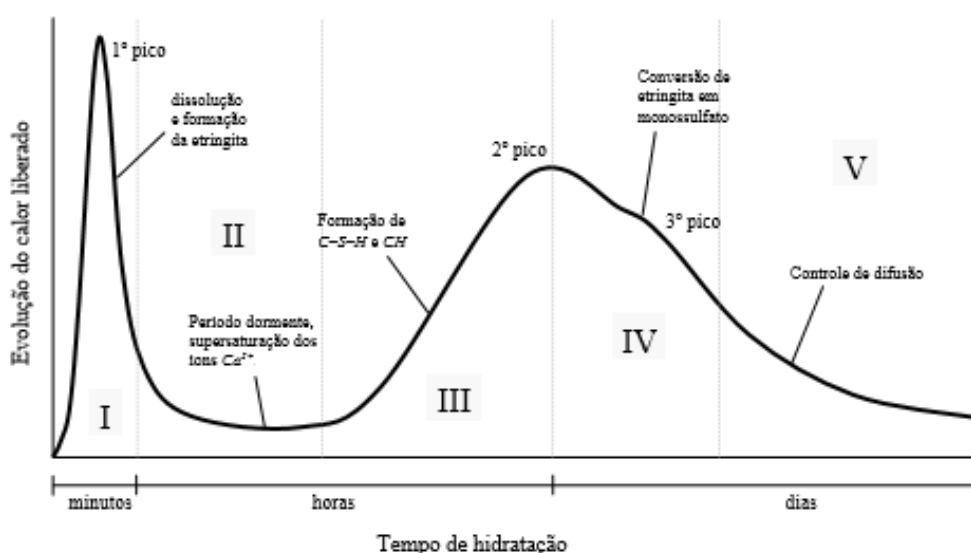
Todas as medições os valores do interior da peça possuem um valor superior ao valor da sua extremidade, possivelmente devido ao fato da região externa da peça ter um maior contato com o ambiente, o que permite uma troca de calor mais fácil do que o centro da peça.

O calor produzido no interior da peça sofre dificuldade em dissipar-se do centro até as superfícies da peça, principalmente em peças que necessitem de alto volumes de concreto para sua fabricação. Com isso, as taxas de calor de hidratação presentes no centro dos blocos são maiores, como bem demonstra-se nas tabelas através dos valores obtidos em suas medições.

Comparando os valores de temperatura do Concreto ARI e o Concreto Resfriado, também é possível notar a proximidade nos valores. Apesar do Concreto Resfriado apresentar valores menores do que o Concreto ARI, suas diferenças em graus Celsius são valores que não passam de 1°C.

Comparando todos os valores apresentados nas medições, desde o primeiro ao 25º dias, as variações de temperatura e os diversos picos de temperaturas apresentados nas medições, além da influência do ambiente externo, que possivelmente possa ter emitido calor até as canaletas (de ferro, material condutor) e contribuído para um acréscimo dos valores, também podem ser justificado através da Figura 5.1, de Faria (2004).

Figura 5.1: Processo exotérmico de hidratação subdividido em cinco estágios.



Fonte: Faria, 2004.

Segundo Faria (2004), até o 28 dia de hidratação do concreto, o cimento provoca 3 picos de valor de temperatura em suas hidratações. Uma delas é instantes após a sua fabricação, a

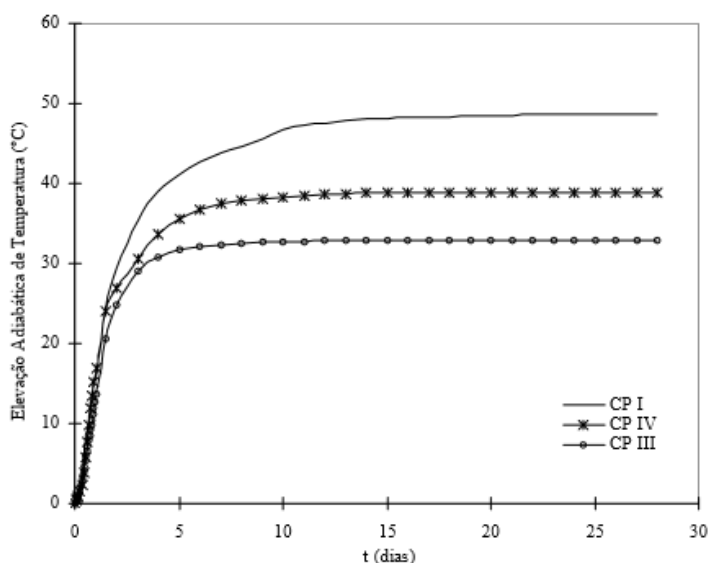
segundo é no primeiro dia após a concretagem, e o terceiro pico, dias após a concretagem da peça.

Essas elevações nos valores de temperaturas decorrentes da hidratação do cimento, são caracterizados pelo processo de formação de compostos químicos, como formação da etringita (C_6ASH_{32}), formação dos cristais de C-S-H e dos monossulfetos.

Algumas variações de tempo apresentadas nas medições dos dados da pesquisa, possivelmente foram resultantes de variações de temperatura, raios solares, baixa umidade e/ou relação água cimento.

Outro dado da pesquisa de Faria (2004), mostra a evolução do calor de hidratação do tipo I, III, e IV dos cimento Portland (figura 5.2). Em gráfico, é possível avaliar a evolução do calor de hidratação do cimento Portland de baixa resistência (CPIV), também utilizado na presente pesquisa.

Figura 5.2: Evolução do calor de hidratação no concreto e a influência dos tipos de cimento

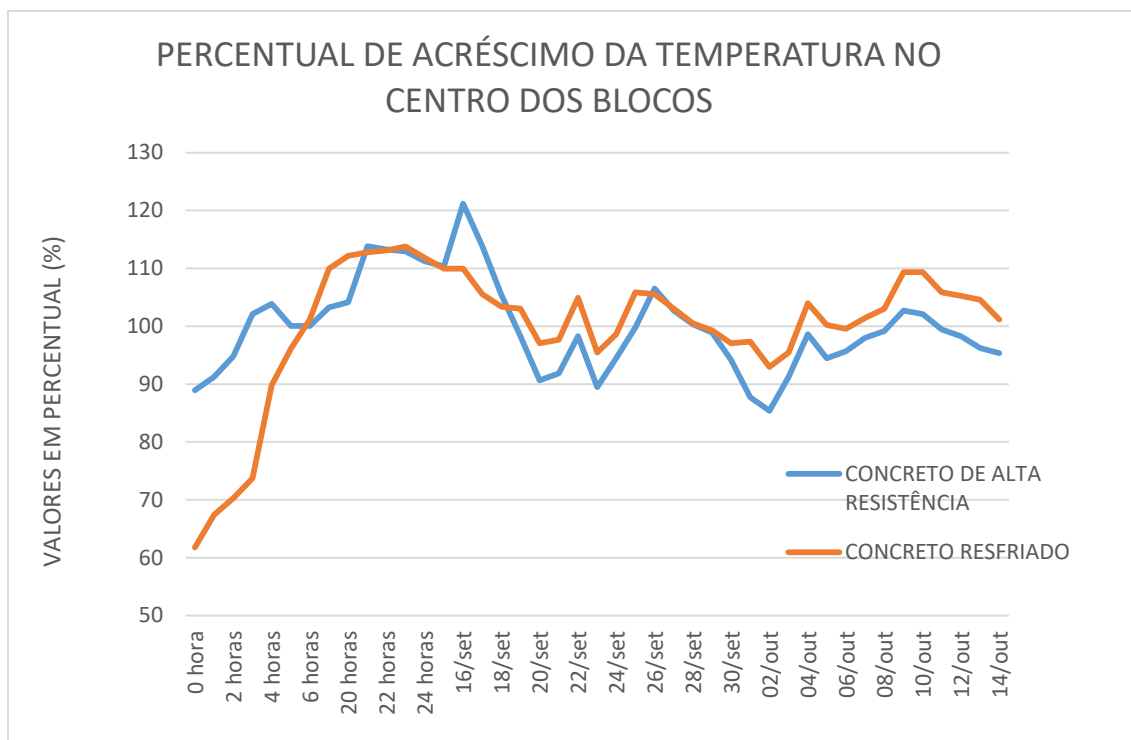


Fonte: Faria, 2004.

Como observado, nas idades iniciais o concreto é caracterizado por um crescimento constante das temperatura a medida que se passam os dias. Até que, por volta do quinto dia do preparo do concreto, a temperatura chega em um valor de pico, apresentando um valor máximo que permanece até a sua hidratação total.

Outro processo realizado foi a percepção de um gráfico que demonstrou todo o processo de evolução das temperaturas dos dois blocos. Com base nisso a Figura 5.3 apresenta esses valores graficamente.

Figura 5.3: Evolução percentual de calor de hidratação no centro do blocos de concreto.



Fonte: Autora, 2004.

De acordo com a Figura 5.3, pode-se notar, que o concreto resfriado, que utilizou o cimento Portland de baixo calor de hidratação (CPIV) em sua mistura apresentou um comportamento semelhante a pesquisa de Faria (2004). Na pesquisa de farias o concreto apresentava um pico em torno de 5 dias, na presente pesquisa, o pico de temperatura do concreto resfriado foi apresentado próximo a 3 dias da sua concretagem.

Quanto ao concreto de alta resistência inicial, a pesar de não obter fonte na pesquisa de Faria relacionada do cimento ARI. Notou-se que o concreto de alta resistência inicial apresentou uma certa variância quanto aos valores de temperatura, não obtendo um comportamento de crescimento constante nas idades iniciais.

Quanto aos valores nas idades maiores, os dois tipos de concreto apresentaram muitas variações. Entretanto em valores percentuais comparados aos valores de uma média calculada apresentam pequenas diferenças.

No valor de pico do concreto resfriado, a temperatura apresentou quase 114% de temperatura, comparada à média da temperatura no centro do bloco de 31,74 °C, já quanto ao concreto de alta resistência seu valor de pico apresentou cerca de 112% do valor da média no centro do bloco, que foi de 34,04 °C.

Com base em todas as medições, foi possível notar que o concreto resfriado apresentou um melhor comportamento quando comparado com o concreto de alta resistência inicial. Desde as primeiras horas de hidratação, o concreto resfriado apresentava um crescimento contínuo, sem muitas oscilações de aumento e redução de temperatura, e seus valores sempre foram maiores do que o bloco que utilizou do cimento de alta resistência inicial.

Todos esses fatores podem ser relacionados pelo fato do gelo ter contribuído pra a redução e o controle do calor de hidratação, e além disso, o tipo de cimento utilizado no bloco resfriado, que foi o CPIV- Cimento de baixo calor de hidratação.

Quanto as variações e os elevados valores iniciais do bloco de alta resistência inicial, podem estar relacionados através das características do cimento, que obtém altos valores iniciais de hidratação garantindo o elevado ganho de resistência já nas suas primeiras idades.

6. CONCLUSÕES

Com a permanente taxa de crescimento das cidades, o constante desenvolvimento vem proporcionando o crescimento de edifícios e com eles o surgimento de peças mais robustas, tornando-se mais frequentes o uso de grandes volumes de concreto, além das pontes, barragens e outras obras excepcionais.

Foi então que surgiu a necessidade de criar novas práticas construtivas que viessem a contribuir na qualidade e durabilidade das estruturas de concreto massa. Dentre elas tem-se: a pré-refrigeração do concreto com utilização de gelo, contribuindo para o controle da temperatura de lançamento e hidratação moderada das peças.

Sua necessidade também surgiu a partir na necessidade de concretagens em locais onde predominassem altas temperaturas, ventos de elevada velocidade e baixa umidade local, que contribuem para o aumento das temperaturas internas ao concreto, e dificultam mais ainda a dissipação de calor quando se tratado de peças de altas densidades de concreto massa.

Diante disso, as avaliações térmicas estudadas no presente trabalho pode obter resultados relevantes quanto a utilização do concreto resfriado em comparação ao concreto convencional.

Pode-se constatar que o concreto resfriado apresenta altas vantagens quando ao concreto convencional, uma dela é a baixa temperatura apresentada logo após o seu preparo e antes de seu lançamento. Sua diferença de temperatura no local do bloco que apresentava maior dificuldade em dissipação de energia foi de quase 11°C.

Esse queda na temperatura apresentado pelo concreto resfriado nas primeiras idades, é beneficiário para o controle do surgimento de patologias, visto que, é nas primeiras idades que ações de exsudação e retração ocorrem no concreto, contribuindo para o possível surgimento de ranhuras, fissuras ou trincas, e reduzindo o tempo de vida útil do concreto.

Além disso, mesmo as hidratações do concreto resfriado intensificando-se com o passar dos dias, chegando até a valores de temperatura bem próximos ao do concreto convencional. É importante mencionar que apesar de próximos, o concreto resfriado ainda apresentava vantagens pois sua temperatura mesmo assim era inferior.

Com base em todos os fatores apresentados, foi possível constatar que a utilização do concreto resfriado em massa de fato apresenta vantagens térmicas, quando comparado a outros tipos de concreto, principalmente quando se tratado de sua utilização em regiões com características semiáridas, e peças de altas densidades.

7. REFERÊNCIAS

ANDRADE, W. P., e Equipe do Laboratório de Concreto de FURNAS, **CONCRETOS** massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – Ensaios e Propriedades, 1PaP. ed., Ed. PINI, São Paulo, 1997

ASAMIX. **CURA DO CONCRETO: PROCESSO DE CURA DO CONCRETO – TIPOS**. 2016. Disponível em: <<http://www.asamix.com.br/tag/cura-do-concreto/>>. Acesso em: 12 Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto -procedimento**. Rio de Janeiro: Moderna, 2014. 256 p.

BRASIL. **BIOMASSA: Na Região Nordeste**. 2005. Disponível em: <<http://infoener.iee.usp.br/cenbio/brasil/nordeste/indnordeste.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

CAMPOS, Aline Marra. **EFEITOS DA TEMPERATURA NO CONCRETO**. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/temperatura_concreto.html>. Acesso em: 26 jul. 2017. CARNEIRO, Guilherme Victor Humberto Soares; GIL, Leonardo Koziel dos Santos; CAMPOS NETO, Manoel Pires. **Calor de Hidratação no Concreto**. 2011. 67 f. Tcc (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia/go, 2011.

CLUBE DO CONCRETO. **Método de Dosagem da ABCP**. 2015. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>>. Acesso em: 17 set. 2017.

CLUBE DO CONCRETO. **Técnicas Práticas de Cura do Concreto: Técnicas de cura**. 2014. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/06/tecnicas-praticas-de-cura-do-concreto.html>>. Acesso em: 11 set. 2017.

ERN, Thiago; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **ESTUDOS DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO CONCRETO DE MÉDIA E ALTA RESISTÊNCIA**. 2003. 36 f. São Paulo, 2003.

FARIA, Étore Funchal de. **PREDIÇÃO DA EXOTERMIA DA REAÇÃO DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO ATRAVÉS DE MODELO TERMO-QUÍMICO E MODELO DE DADOS**. 2004. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Engenharia Civil., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

GAMBALE E. A. Simulação numérica e verificação in loco das temperaturas da viga munhão da UHE Foz do Chapecó. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Ibracon, 2009.

GANASINI, Débora; PATRUNI, Isabeli Zenato; GARCIA, Janine. **EFEITOS DA TEMPERATURA SOBRE O CONCRETO**. 2015.

JUNIOR., José de Almendra Freitas. **Materiais de Construção**: Paraná: Imagem, 2013. Color.

LAPA, José Silva. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

MEHTA; MONTEIRO, Paulo. **Concreto Microestrutura, Propriedades e Materias**. São Paulo: Ibracon, 2008

MONTE JÚNIOR, I. V.; PAIVA, D. F. L. de; DINI, H. A. A.. **APLICAÇÃO DE CONCRETO RESFRIADO EM FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO EM NATAL/RN**. 1-11 p. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal – RN, 2016.

NETTO, Rafael Mantuano. **MATERIAIS POZOLÂNICOS**. 2006. 149 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Tecnologia e Produtividade das Construções, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, A. M.. **PROPRIEDADES DO CONCRETO**. 5. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2016. 886 p.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 472 p.

NICOLA, Andrei. **BLOCOS DE CONCRETO**. 2010. 16 f. Trabalho Técnico - Curso de Engenharia Florestal., Universidade Federal do Tocantins Curso de Engenharia Florestal, Gurupi, 2010.

OLIVEIRA, M. P. de, BARBOSA, N. P. Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.2, p.490–496, 2006.

Walton Pacelli de Andrade – Laboratório de Furnas - Concreto Massa para a Usina Nuclear de Angra dos Reis – Angra 2 – Estudo de Dosagens - 1981

PEDROSO, Bruna Migliorini; TERTULINO, Bruno Scardelato; PULIDO, Antonio Carlos. **INFLUÊNCIA DO FATOR ÁGUA/CIMENTO PARA RESISTÊNCIA DO CONCRETO**. 2016. Disponível em: <<http://concepar.grupointegrado.br/resumo/influencia-do-fator-aguacimento-para-resistencia-do-concreto/480/854>>. Acesso em: 06 jul. 2017

SACHS, Ana. Calor sob controle: Concretagem de peças estruturais de grande volume exige controle tecnológico rigoroso para evitar fissuras e patologias que afetem sua durabilidade. **Téchne: Tecnologia**, São Paulo, n. 190, p.1-3, nov. 2012

SANTOS, S. **Produção e Avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 267p.

SILVA, Rodrigo Pedroso da; VIEIRA, Tayanne Christina Melo; SANTOS, Veronica Solimar dos. O RESFRIAMENTO DO CONCRETO EM HIDRELÉTRICAS: A UTILIZAÇÃO DO GELO. **Xvii Salão de Pesquisa e Iniciação Científica Iii Salão de Extensão do Ceuls/ulbra**, Santarém – Pará, p.324-328, nov. 2016.

VALIM JUNIOR, Marcos de Oliveira; LIMA, Sandra Maria de. INFLUÊNCIA DO CLIMA TROPICAL NA CURA DO CONCRETO. **2ª Jornada de Produção Científica da Educação Profissional e Tecnológica da Região Centro Oeste**, Cuiabá/mt, p.1-4, 29 out. 2008.

TECHNE. **IPT Responde:** Temperatura no concreto. 2011. [Http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/162/ipt-responde-286738-1.aspx](http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/162/ipt-responde-286738-1.aspx). Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/162/ipt-responde-286738-1.aspx>>. Acesso em: 04 set. 2017.

TECHNE. **IPT Responde:** Temperatura no concreto. 2011. [Http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/162/ipt-responde-286738-1.aspx](http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/162/ipt-responde-286738-1.aspx). Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/162/ipt-responde-286738-1.aspx>>. Acesso em: 04 set. 2017.

TERENCE, Ana Cláudia Fernandes; ESCRIVÃO FILHO, Edmundo. Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais. **Xxvi Enegep**, Fortaleza, p.1-9, 09 nov. 2006.

UFPR, Universidade Federal do Paraná. **CONCRETO COM GELO.** 2007. Disponível em: <[file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TCC - Concreto Resfriado/CONCRETO COM GELO, UFPR Marcelo_Medeiros.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Desktop/TCC%20-%20Concreto%20Resfriado/CONCRETO%20COM%20GELO,UFPR%20Marcelo_Medeiros.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2017.