



A INFLUÊNCIA DO CLIMA TROPICAL SOBRE A RETRAÇÃO E FLUÊNCIA DO CONCRETO

TELES, Vanessa Yasmine F. da R.; CABRAL, Fiori Marques da Silva;
RIBEIRO, Rafaela Larissa Santos; OLIVEIRA, Romilde Almeida de.

UPE - POLI, v.yasmine@gmail.com; UFPE, rafaelarisa@yahoo.com.br; UNICAP,
fioricabral2015@gmail.com; UPE-POLI, romildealmeida@gmail.com.

RESUMO

A diversidade climática está relacionada com a inclinação do eixo de rotação da terra e a exposição solar, que é intensa nos trópicos e produz diferenças ambientais nos ciclos diurnos, vespertinos e noturnos. Particularmente na linha do Equador há uma intensa deterioração nos materiais de construção. Esta pesquisa visou identificar a influência do clima tropical no comportamento do concreto, em virtude da forte incidência solar nesta faixa do planeta, uma vez que os materiais de construção sofrem influência direta da quantidade de calor recebida, promovendo a alteração das características previstas em projeto, contribuindo com a redução do seu desempenho durante sua vida útil. A pesquisa é do tipo análise bibliográfica, não sendo utilizados métodos de ensaios nem avaliação ou técnicas estatísticas e caracteriza-se como descritiva, não requerendo a utilização de métodos. Desta forma, abordou-se a definição da condutividade térmica no concreto e suas relações com o clima, o surgimento de deformações como a retração e a fluência, seu comportamento, como o surgimento de fissuras e consequente influência na qualidade e resistência das estruturas de concreto e como todos estes fatores são diretamente afetados pela temperatura e umidade relativa do ar. Neste contexto, observou-se o comportamento distinto do concreto, no que diz respeito ao desempenho, em regiões de clima diferentes.

Palavras-chave: Concreto. Temperatura. Umidade. Condutividade térmica. Deformações.

ABSTRACT

Climatic diversity is related to the inclination of the axis of rotation of the earth and the sun exposure, which is intense in the tropics and produces environmental differences in the diurnal, evening and night cycles. Particularly in the Ecuador line there is an intense deterioration in the building materials. Particularly in the Ecuador line there is an intense deterioration in construction materials. This study intends to identify the influence of the tropical climate on the behavior of the concrete, due to the strong solar incidence in this strip of the planet, since the building materials undergo a direct influence of the amount of heat received, promoting the alteration of the characteristics predicted in design, Contributing to the reduction of its performance during its useful life. The research is of the type bibliographical analysis, not being used methods of tests or evaluation or statistical techniques and is characterized as descriptive. That way, the definition of the thermal conductivity in the concrete and its relations with the climate, the emergence of deformations as the retraction and the creep, its behavior, as the appearance of fissures and consequent influence in the quality and resistance of the concrete structures and how all these factors are directly affected by temperature and relative humidity. In this context, it was observed the distinct behavior of concrete, with respect to performance, in different regions of climate.

Keywords: Concrete. Temperature. Humidity. Thermal Conductivity. Deformations.

1 INTRODUÇÃO

Estudar este tema fez-se necessário pela carência de informações disponíveis acerca da influência climatológica no comportamento dos materiais de construção, sobretudo quando inseridos no clima tropical, já que o clima é o fator que mais influencia na deterioração das estruturas (YUAN; JIANG, 2011a,b). De

uma forma geral a variação climática é ignorada em vários estudos, mesmo contendo fatores que interferem no comportamento das estruturas de concreto. A exemplo podem ser citadas as variações de temperatura e a umidade relativa do ar, que influenciam na concentração de CO₂, na carbonatação do concreto, na penetração dos cloretos e na corrosão do aço empregado no concreto.

Esta pesquisa tem por objetivo identificar o comportamento do concreto em regiões de clima tropical, que sofre a influência da radiação solar e da umidade, gerando deformações diversas, dentre elas a retração e a fluência.

A metodologia da pesquisa é definida como qualitativa, descritiva e exploratória, através de revisão bibliográfica, priorizando a interpretação de fenômenos e atribuição de significados, sem requerer a utilização de métodos e técnicas estatísticas. A análise de dados é feita de forma indutiva, no ambiente natural, tendo o processo e seu significado como focos principais de abordagem. Deste modo, esta pesquisa visa aplicar os conhecimentos científicos para a solução das variadas situações de ordem tecnológica e executiva da construção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este estudo analisa como as temperaturas nas regiões tropicais, onde são as mais elevadas do globo terrestre, influenciam diretamente no desempenho das estruturas de concreto.

2.1 Macroclimas brasileiros

A maior incidência de radiação solar ocorre sobre as latitudes que delimitam a região tropical e a linha do Equador. Segundo Ribeiro (2013), o Brasil, pela sua extensão geográfica, apresenta diversidade na sua tipologia climática, elementos atmosféricos e fatores geográficos que são inerentes também à América do Sul. Desta forma, pode-se observar, no Brasil, cinco macrotipos climáticos: clima equatorial, clima tropical equatorial, clima tropical litorâneo do nordeste oriental, clima tropical úmido seco ou tropical do Brasil Central e clima subtropical úmido.

De acordo com Ribeiro (2013, p.34) ao examinar as estações do ano, deve-se considerar que a terra encontra-se inclinada 66,5° em relação ao plano da órbita celeste. Os raios do sol recaem de forma diferenciada na superfície da Terra, durante a translação. O sol atinge de forma perpendicular o Trópico de Capricórnio, aos 23,5° de latitude, na fase do solstício de verão, que ocorre a partir de 22 de dezembro, no hemisfério Sul.

Nesta área, a concentração da energia solar é intensa e ocorre o aumento da temperatura. Os trópicos de Câncer e Capricórnio delimitam a região chamada de trópicos e são os limites exteriores da região onde o sol está no Zênite. O Zênite é a reta imaginária na qual a radiação solar incide perpendicular ao plano da superfície terrestre. Este fenômeno acontece duas vezes ao ano, apenas na região entre os trópicos (AYOADE, 2012).

Os tópicos delimitam a região tropical que fica compreendida entre latitudes de 23,5°N e 23,5°S do Equador. Nela não há uma estação fria, ou seja, praticamente, o inverno não acontece (FARIA, 1987).

2.2 A importância do clima sobre o concreto

Simulações sobre o desempenho térmico dos materiais apresentam resultados que consideram a radiação solar quando se encontram em ambientes externos. Além deste fator, devem levar em consideração o comprimento de onda da radiação e a condução de calor através dos materiais. A percepção humana se apresenta como importante para observação dos fatores térmicos, e deve, portanto ser considerada experimentalmente (FUJITA *et al.*, 2001).

O verão, geralmente traz para o concreto pronto, uma certa dificuldade, no que diz respeito à trabalhabilidade e, conseqüentemente, influencia na resistência à compressão. Durante sua produção em clima quente é comum que aconteça o aumento da evaporação da água da mistura em estado fresco (ORTIZ, 2008) alterando o fator água/cimento da pasta. A temperatura elevada faz com que o interior do concreto necessite de maior demanda de água e, segundo ORTIZ (2008), o clima quente é um fator predominante nas regiões de clima tropical. Como resultado, obtêm-se a perda de *slump* e uma hidratação mais rápida. Este processo acelerado vai acarretar, a longo prazo, a diminuição da resistência à compressão.

As condições externas as quais a pasta de cimento está exposta são fatores determinantes para a velocidade de hidratação. Altas temperaturas promovem a evaporação da água mais precocemente, ocasionando o aumento de poros na pasta, o que implica em camadas superficiais mais porosas favorecendo um ambiente mais suscetível ao ataque de agentes externos agressivos e mais propensos às fissuras. Percebe-se a importância da realização da cura no processo de auxílio da preservação das características do concreto para que as condições climáticas não exerçam influência na sua resistência (HELENE, 2013).

Entende-se por cura os procedimentos adotados no intuito de promover a proteção da superfície dos elementos estruturais contra temperaturas muito altas ou muito baixas. A cura evita também a dessecação prematura e, principalmente, que a água usada no amassamento, que é destinada à hidratação do cimento evapore precocemente no ambiente, pela superfície do concreto (HELENE, 2013). O modelo que prevê a temperatura no interior do concreto levam em consideração os efeitos da luz do sol e da chuva (YUAN; JIANG, 2011a,b).

Observa-se, portanto, que tanto externamente como internamente, a luz do sol é um fator determinante no que diz respeito à temperatura do concreto, indicando o clima como principal fator determinante da deterioração das estruturas de concreto.

2.3 Considerações iniciais para o concreto em regiões tropicais

As ações climáticas, a exemplo a umidade relativa do ar e a temperatura, são definidas a partir de dados meteorológicos. Os efeitos da luz solar e da chuva estão inseridos na construção do modelo que prevê a temperatura dentro do concreto (YUAN ;JIANG, 2011a,b). Essa abordagem é importante porque coloca o clima como fator influente na deterioração das estruturas de concreto. Uma forma eficaz de analisar e prever o ambiente térmico no qual o concreto está inserido é uma simulação numérica de distribuição de fluxo de ar numa área urbana (HE, 1997). Os ciclos diurno e noturno definem um processo estocástico

provenientes das variações da umidade e temperatura. Sem a proteção adequada, a temperatura pode alterar as propriedades da estrutura do concreto em decorrência da exposição à radiação solar, especialmente entre 13h e 14h (YUANG; JIANG, 2011a,b).

As variações no microambiente do concreto não seguem as variações climáticas, elas apresentam distinção entre a umidade relativa do ar e do ambiente. Isso ocorre porque o tempo de secagem do concreto é mais longo do que o processo de absorção da umidade, o que acontece em decorrência da diferença de condução da umidade no concreto.

De acordo com Helene (1986), outros fatores de grande influência para a degradação do concreto são a corrosão e a presença de fissuras, que permitem a entrada da umidade e de cloretos no concreto.

Segundo Tropical Engineering (2005), não existem restrições quanto ao uso do concreto em áreas tropicais. No entanto, nestas áreas, este material está suscetível a danos causados por elementos corrosivos presentes na água salgada e agregados, sendo necessários cuidados especiais para assegurar uma corrosão limitada ou ausente, dentre os quais: Utilizar cimentos recomendados para áreas tropicais (CPI e CPII) e ambientes marinhos (CP IV e CP V); utilizar agregados marinhos desprovidos de cloreto de sódio tendo um programa de qualidade; não utilizar água não potável na dosagem de água para o concreto armado ou cura do mesmo, evitando patologias provenientes da umidade; não permitir que a concentração de cloreto ultrapasse 1,5Kg por metro cúbico no concreto armado.

Neville e Brooks (2013) definem trabalhabilidade como a quantidade de trabalho interno útil e necessário para a obtenção do adensamento total. Para melhorar a trabalhabilidade do concreto, pode-se ainda utilizar o incorporador de ar e aditivos redutores de água de alto desempenho. A diminuição da quantidade de água possibilita a redução da retração por secagem e aumenta a resistência à penetração de íons cloreto, especialmente em áreas propensas à corrosão como os trópicos. Ainda é inexistente uma técnica satisfatória que atenua os danos da corrosão, sendo o tratamento corretivo feito removendo-se a ferrugem do aço, ou substituindo o reforço antes da reparação do concreto. Também é possível utilizar fibras sintéticas ou fibras de vidro neste processo (TROPICAL ENGINEERING, 2005).

O controle da temperatura do concreto na fase de lançamento é fundamental para prevenir a ocorrência de fissuras térmicas. Para isso, o pré – resfriamento do concreto é um método bastante utilizado. São especificados agregados resfriados ou escama de gelo para produção de misturas de concreto massa, limitando a temperatura do concreto a até 10 °C (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

De uma forma geral, deve-se levar em conta alguns pontos principais para garantir a durabilidade do concreto em regiões tropicais: utilização de cimento de qualidade, cobertura adequada, boas práticas construtivas e baixa concentração limitada de cloreto solúvel em água. O aço não deverá ser utilizado quando houver exposição direta do concreto à água do mar, devido ao ataque de cloretos e não devem ser empregadas adições que contenham cálcio ou agregados que contenham cloretos em estruturas protendidas. Em relação ao projeto, caso as forças de protensão superiores sejam utilizadas para causar estanqueidade à água, devem ser incorporados subsídios para o encurtamento

elástico, tal qual a fluência e retração. Nos acabamentos de concretos especiais é importante estar ciente das patologias como o mofo que ocorre em superfícies setorizadas não tratadas (TROPICAL ENGINEERING, 2005).

2.4 A condutividade térmica do concreto

Define-se por como condutividade térmica a quantidade de calor transmitida por meio de uma unidade de espessura em uma direção normal a uma superfície de unidade de área, causado por um gradiente de temperatura da unidade em estado estacionário. A condutividade térmica no concreto é relevante, e por ser um material não homogêneo a transferência de calor no mesmo é complicada, sendo preciso dividi-lo em componentes e facetas (BECCHIO *et al.*, 2009).

A condutividade térmica do concreto depende da temperatura (mais elevadas que zero e de até 80°) e do teor de água. A temperatura também interfere em outros fenômenos como a carbonatação, a capilaridade e a corrosão de armaduras, esta última ocorre no concreto armado e protendido devido à difusão de cloretos. A transferência térmica não é afetada pela quantidade de água no processo de secagem e molhagem do concreto, sua velocidade depende especialmente das características do arranjo cristalino constituído pela pasta de cimento e agregados. Modelagens computacionais estudam a condutividade térmica no concreto simulando o clima real, convergindo quando surgem mudanças abruptas na condição de contorno caso haja um período de chuva sucedido por um de seca (CONCIATORI, 2010).

Haneefaa (2013), cita que o processo da decomposição da pasta de cimento ocorre sob temperaturas entre 20 e 120 graus. Nestas mesmas condições de temperatura, foram observados fenômenos termo-hidro-químicos que consistem na evaporação de água livre, bem como a desidratação de C-S-H e de etringita. Observou-se que, quando adicionados sílica, cinza volante e escória de alto forno, há um aumento na resistência à compressão do concreto. De acordo com o mesmo autor, a condutividade térmica também é afetada pelo tipo de agregados empregados no concreto, pois existem diversos tipos de agregados com variadas composições mineralógicas (HANEFAA, 2013).

Existe uma estreita relação entre condutividade térmica e umidade: quando a umidade é reduzida 1%, a condutividade térmica sofre alteração entre 7 e 10%, dependendo da mistura do concreto. Em relação ao concreto normal e ao concreto com adição de escória, o concreto adicionado de cinzas possui maior absorção de umidade (SHIN; KODIDE, 2012). Compósitos de cortiça diminuem a densidade do concreto, reduzindo também a condutividade térmica. Concreto contendo 20% de compósitos de cortiça tem um acréscimo de 46% na resistência térmica, quando comparado ao concreto normal (PANESAR; SHINDMAN, 2012). Ao substituir o agregado convencional por perlita expandida (um mineral silicoso vulcânico), há uma redução na condutividade térmica (OZKAN *et al.*, 2011). Partindo dos exemplos citados, conclui-se que o concreto é um material de construção de excelência, sendo resistente ao calor e ao impacto sob efeito de cargas estáticas ou dinâmicas (LI *et al.*, 2012).

2.5 As deformações do concreto

Quando o concreto está exposto à temperatura mais elevada, alguns fenômenos

devem ser prioritariamente observados: condução de calor, vapor de difusão e fluxo de água em estado líquido nos vazios. No que se refere à mecânica da estrutura, estuda-se a retração, os efeitos da fluência, e a plasticidade (POMARO, 2011).

A fissuração do concreto ocorre devido a vários fatores: deformação devido a cargas externas, temperatura ambiente e umidade são os mais influentes. O concreto endurecido recentemente sofre contração térmica e retração por secagem. Entende-se por secagem a perda da umidade e a contração térmica consiste na deformação de retração relacionada ao resfriamento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.5.1 A fluência do concreto

Segundo Kuperman (2007), as deformações suportadas pelas construções decorrem de diferentes fatores, dentre os quais está a fluência, que depende da retração por secagem e influencia bastante no comportamento estrutural a longo prazo. De acordo com o mesmo autor:

Fluência é uma deformação plástica irreversível, que se superpõe à deformação elástica reversível, semelhante à deformação do chumbo ou do asfalto, ela se faz de forma crescente e lenta, com o decorrer do tempo, nas situações em que a carga é mantida.

Pode-se afirmar que a relação tensão-deformação é uma função do tempo, pois existe uma relação proporcional entre tensão e deformação e há uma deformação cuja presença e magnitude, sofrem influência do tempo no qual a tensão aplicada atua. Considerando-se a umidade relativa do ar de 100%, e aplicando-se uma tensão constante em uma peça de concreto, temos a chamada “fluência básica”, na qual está embutida a deformação autógena suportada pelo concreto. Já a “fluência por secagem” ocorre quando a peça, sob carga, está submetida à secagem. A soma da fluência básica com a fluência por secagem é denominada “fluência total”, já o termo “fluência específica” é adotado para definir a deformação de fluência por unidade de tensão aplicada. Por fim, “coeficiente de fluência” seria a relação entre deformação por fluência e deformação elástica. (KUPERMAN, 2007).

No caso de barragens, obras com grande volume de concreto fluência básica é predominante, em caso de obras com estruturas esbeltas, o predomínio será da fluência por secagem (ARAUJO, 2002). Observa-se, desta forma, forma da estrutura como fator de relevância para sua determinação.

Conforme modelo do CEB de previsão para cálculo da deformação da fluência, temos:

$$\varepsilon_{cc} = \frac{\sigma_{cc}}{E_{c28}} \varphi \quad (1)$$

Onde E_{c28} é o módulo secante de deformação do concreto aos 28 dias, o qual está diretamente relacionado às condições climáticas as quais o concreto está exposto. Atentando-se aos fatores de umidade e temperatura durante o processo da cura. φ é o coeficiente de fluência que, por sua vez, encontramos da seguinte

forma:

$$\phi = \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \beta_5 \quad (2)$$

Onde β_1 é o único coeficiente que caracteriza condições climáticas ambientais; β_2 é a variável que depende do endurecimento do concreto na idade o carregamento; β_3 coeficiente dependente da composição do concreto. Indiretamente, também sofre influência da temperatura e da umidade, pois está diretamente ligada ao grau de hidratação da pasta de cimento e cura; β_4 relativo à espessura fictícia da peça. Deve-se lembrar que a relação entre a altura da peça e sua área, interferem na deformação lenta do concreto e sua forma determina a velocidade de evaporação da água. β_5 Relativo à deformação da peça à longo prazo. Observa-se primeiro que esta deformação não ocorre instantaneamente e que depende da umidade (ESTRUTURA, 2008)

A fluência do concreto ocorre de formas diversas: uma é quando a temperatura e umidade relativa do ambiente são constantes e a outra quando há diminuição da umidade relativa no ambiente (ISAIA *et al.*, 2007). Ela é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência do concreto no período de aplicação.

A umidade relativa do ar tem influência direta na fluência do concreto. Em ambientes onde a umidade relativa é de 50% a fluência pode ser de duas a três vezes maior que em concretos submetidos à umidade relativa de 100% Kuperman (2007). As condições de cura é um fator determinante na resistência e na qualidade do concreto e que, por sua vez, depende das condições climáticas de umidade, temperatura e velocidade do vento. Outro fator relevante para a fluência diz respeito aos materiais constituintes do concreto que também são diretamente afetados pelas condições de calor ao qual estão submetidos. Variações de temperatura possuem relação direta com o grau de hidratação da pasta, endurecimento e ganho de resistência mecânica (ESTRUTURA, 2008).

Como exemplo de umidade relativa elevada, temos Recife, com umidade do ar de aproximadamente 85% enquanto que a cidade de Teresina, com umidade relativa aproximada de 44% (CLIMATEMPO, 2013). Ambas as cidades localizadas na Região Nordeste do Brasil, porém com umidades bastante diferentes, o que requer maior rigor quanto à determinação da fluência para cada caso. Além disso, Recife –PE, possui o maior índice de esbeltez das edificações, fator este que deveria ter uma atenção especial no cálculo das estruturas.

2.5.2 A Retração do Concreto

Assim como a fluência, o valor da retração do concreto depende da umidade relativa do ambiente, espessura fictícia da peça e da consistência do concreto no momento do seu lançamento. A perda de calor do concreto ocorre através da superfície, portanto, as condições da concepção do concreto, suas propriedades térmicas e as condições do ambiente determinam a quantidade dessa perda. É possível observar, através de microscópio, que em regiões onde a moldagem acontece em regiões com temperaturas mais baixas, a pasta de cimento apresenta maior uniformidade (MEHTA; MONTEIRO 2008).

Dentre os vários tipos de retração, a hidráulica ou por secagem foi analisada neste trabalho. Podemos determinar o valor da retração através da seguinte equação:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_0 \beta_3 \beta_4 \beta_5 \beta_6 \quad (3)$$

Onde ε_0 define as condições climáticas, porém de forma rudimentar; β_3 coeficiente que depende da composição do concreto, ou seja, depende das condições ambientais que está diretamente relacionado com a cura, o endurecimento e a resistência á compressão; β_4 diz respeito à umidade relativa do ar; β_5 relaciona-se com a progressão da retração ao longo do tempo. A retração ao longo do tempo está diretamente relacionada com fatores climáticos (ESTRUTURA, 2008).

O coeficiente β_6 é uma variável determinada em função de ρ , conforme abaixo:

$$\beta_6 = \frac{1}{[1 + n\rho]} \quad (4)$$

Determina-se ρ pela relação entre a área da armadura, da seção transversal e a área do concreto, na seção transversal; n é uma constante determinada através de análise experimental. Considera-se a deformação lenta para valores a partir de $n = 20$.

Uma vez que a retração tem relação intrínseca coma umidade e é o fator mais importante para determiná-la, locais com pouca umidade devem adotar procedimentos diferentes de cura do que locais com umidade elevada (HE, 1997).

Paredes e pilares são elementos que auxiliam e protegem as lajes dos efeitos da retração, assim como o aumento da armadura nas dimensões principais são preponderantes na redução desses efeitos. A armadura de combate à retração e os efeitos da temperatura devem estar dispostos em ângulos retos, e também previstos em projeto. Além desses fatores, deve-se realizar o controle da retração inicial evitando o aumento das tensões e conseqüentemente, surgimento de rachaduras (ACI 318-11, 2011).

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta pesquisa observou-se que na literatura se faz presente o estudo da atuação da umidade relativa do ar e da temperatura na influência ambiental sobre o concreto, pontuando que outros parâmetros climáticos (ex.:massas de ar, circulação atmosférica, mudanças do dia e da noite) deveriam ser levados em conta para a obtenção de um diagnóstico mais preciso dessa interferência ambiental sofrida pelo ambiente microestrutural, bem como para elaboração de requisitos normativos. As normas de projeto de estruturas nas regiões de clima tropical deveriam ser baseadas em análises probabilísticas que adicionassem sinistros naturais como enchentes e precipitações pluviométricas, já que os

sistemas meteorológicos destas áreas são complexos e aleatórios. Os materiais especificados para climas temperados, quando utilizados nas regiões tropicais, devem ser incansavelmente testados para a nova condição climática. O clima nos trópicos é determinado pela intensa exposição solar, influenciando no comportamento elementos construtivos, o que torna relevante o aperfeiçoamento de uma “engenharia tropical” que estude e atenda às condições deste clima. Os efeitos das deformações de segunda ordem no concreto também deveriam ser considerados nas normas vigentes de projetos estruturais, pois estas mencionam de forma muito simplificada a influência da temperatura e da umidade relativa do ar. O turno vespertino constitui no maior período de exposição solar nas regiões tropicais e a literatura não cita nada específico sobre isso.

No concreto, os tempos de secagem e de absorção da umidade são diferentes, o que interfere na sua preparação, assentamento e endurecimento, no entanto o concreto é um excelente material para os climas dos trópicos, pois convive de forma satisfatória com altas temperaturas. As deformações como retração e fluência são influenciadas de diferentes formas pelas altas temperaturas e umidade. A determinação de traço, tipo de cimento, porosidade aceitável e relação água/cimento do concreto depende de informações retiradas de dados climáticos. Os dados que se têm disponíveis são baseados em modelos de probabilidade, métodos estatísticos e problemas de otimização que buscam descrever de forma realística a variação climática interna no concreto. O monitoramento da condução térmica no concreto é de grande importância para a prevenção de patologias diversas oriundas da variação de temperatura no seu microambiente, como por exemplo, difusão de cloretos, oxidação de armaduras e despassivação. Este monitoramento pode ser feito com a utilização de sensores resistentes colocados em seu interior ainda no momento de lançamento, no seu estado reológico, para que se faça um acompanhamento durante sua vida útil e para que se tome medidas protetivas, conforme prevê a NBR 6118. Quanto ao cobrimento do concreto, este possui uma relação direta com temperatura e umidade relativa do ar, devendo ter traço, relação água – cimento e porosidade que atendam às condições climáticas, a fim de evitar o ingresso de agentes patológicos e de minimizar os efeitos nocivos ao concreto.

A temperatura e a umidade relativa do ambiente também influenciam diretamente nas deformações sofridas pelo concreto, abalando a estabilidade da pasta de cimento, afetando sua vida útil. A retração influencia a formação das interconectividades que intervêm no desempenho mecânico da estrutura. A umidade do ar, afeta ainda a hidratação da pasta de cimento, acelerando ou retardando a mesma e comprometendo os ensaios de resistência à compressão, dificultando a previsão da resistência final.

Quanto à fluência, as temperaturas elevadas proporcionam reações divergentes, podendo favorecer ou reduzir as deformações, e a umidade, quando pouca ou ausente, contribui de forma significativa para o seu aumento. É válido ressaltar que o concreto é favorecido em muitos aspectos pelo clima tropical.

A umidade pode ser prejudicial em climas excessivamente úmidos ou secos e deve ser acompanhada para proporcionar o lançamento e a cura adequados do concreto. Correções de traço e utilização de aditivos devem ser previstos para a redução da perda de água.

A condutividade térmica do concreto ainda é praticamente desconhecida. É preciso considerar o concreto como heterogêneo, incentivando estudos subsequentes como mecânica dos fluidos, termodinâmica, dentre outros. Também se fazem necessárias pesquisas sobre condução do calor e influência da temperatura, para se obter mais informações sobre seu desempenho.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho identificou a influência da radiação solar, em regiões de clima tropical, no comportamento do concreto, caracterizando as particularidades do seu desempenho nestes ambientes. Apesar desta pesquisa se mostrar qualitativa, é necessário que sejam feitos estudos experimentais e numéricos acerca das considerações nela apresentadas. A literatura ainda é carente de estudos que mostrem os efeitos da radiação ultravioleta e dos raios infravermelhos no concreto. Ainda se desconhece as propriedades das ondas térmicas deste material. A umidade e a temperatura do ar influenciam bastante na condutividade térmica do concreto, que por sua vez, é influenciada pela composição mineralógica dos agregados. O clima também atua sobre as condições de cura e deformações do concreto. A deformação por fluência carrega precocemente a estrutura, podendo acarretar fissuras, estando diretamente proporcional a tensão aplicada. A retração Nordeste é um ambiente favorável, proporcionando baixa retração. Tanto a fluência quanto a retração estão diretamente associados às condições de umidade e temperatura do clima.

Como sugestão para estudos posteriores tem-se os referidos assuntos: a correlação das variações de temperatura e umidade relativa do ar com o surgimento de fissuras em argamassas de revestimentos externos; o monitoramento da velocidade do vento e a temperatura do concreto; a correlação da taxa de evaporação de água no concreto e ganho de resistência inicial sob condições climáticas.

REFERÊNCIAS

- YUAN, Y., JIANG, J. Prediction of temperature response in concrete in a natural environment. **Construction and Building Materials** 25 3159-3167. 2011a.
- RIBEIRO, R. L.S. **Ações devidas ao clima sobre os materiais de construção em regiões tropicais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. Orientador: Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira, Recife, 2013.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 16 ed. São Paulo: Editora Bertrand Brasil LTDA, 2012.
- FARIA, R. P. **Fundamentos de Astronomia**. 3 ed. Campinas. São Paulo: Editora Papirus, 1987.
- FUJITA, A. et al. Numerical simulation method to predict the thermal environment inside a car cabin. **JSAE Review** 22, 39-47. 2001
- ORTIZ J. et al. M. Influence of environmental temperature and moisture content of aggregates on the workability of cement mortar. **Construction and Building Materials** 23 1808-1814. 2008.

- HELENE, P. LEVY. S. A Cura do concreto. Boletim Técnico. Asociación Latino americana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - **ALCONPAT Int.** 2013.
- HE, P. *et al.* Numerical simulation of air flow in an urban area with regularly aligned blocks. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics** **67&68**, 281-291. 1997.
- HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. Editora Pini. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo. 1986.
- TROPICAL ENGINEERING. **Militar Handbook Manual**. Department of Defense. United States of America. 1011/1. 2005.
- NEVILLE A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2 ed. Porto Alegre. Bookman, 2013.
- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 2 ed. PINI. São Paulo. 2014.
- BECCHIO, C *et al.* Improving environmental sustainability of concrete products: Investigation on MWC thermal and mechanical properties. **Energy and Buildings** **41** (2009) 1127–1134.
- CONCIATORI, D. *et al.* Comprehensive modeling of chloride ion and water ingress into concrete considering thermal and carbonation state for real climate. **Cement and Concrete Research** 2010, **40**, 109-118.
- HANEEFAA, K. M. *et al.* Review of concrete performance at elevated temperature and hot sodium exposure applications in nuclear industry. **Nuclear Engineering and Design** **258**,76– 88. 2013.
- SHIN, A. H. e KODIDE, U. Thermal conductivity of ternary mixtures for concrete pavements. **Cement & Concrete Composites**. **34**, 575-582,2012.
- PANESAR, D.K.; SHINDMAN B. **The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork**. **Cement & Concrete Composites** **34**, 982-992,2012.
- OZKAN *et al.* **Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete**. **Energy and Buildings** **43**, 671–676, 2011.
- LI, Z. *et al.* Static and dynamic mechanical properties of concrete after high temperature exposure. **Materials Science and Engineering A** **544**, 27-32, 2012.
- POMARO, B. *et al.* Radiation damage evaluation on concrete within a facility for Selective Production of Exotic Species (SPES Project). **Italy Journal of Hazardous Materials** **194**, 169-177, 2011.
- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3 ed. IBRACON. São Paulo. 2008.
- KUPERMAN, Selmo Chapira. Considerações sobre fluência de concretos. Disponível em:< <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/125/artigo285694-1.aspx>>. Edição 125. Agosto de 2007. Acesso 22 jun, 2017.
- ARAUJO, J. M. de. **Estruturas de Concreto: Modelos da Previsão da Filuência e Retração do Concreto**. Numero 4. Rio Grande do Sul. Rio Grande: Editora Dunas, 2002.
- ESTRUTURA. Engenharia e Arquitetura. Recomendações do CEB de 1972 – Comentários e explicações do professor Aderson Moreira Rocha. **Revista Técnica das construções** nº 70 – 71, Ano 17. IBRACON. São Paulo. 2008.

ISAIA, G. C. *et al.* Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. Volume 2. IBRACON. São Paulo. 2007.

CLIMATEMPO. **Unidade Relativa do ar**. Disponível em:
<<http://www.climatempo.com.br>>. Acesso em: 08/06/20173.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI 318-14 Building Code. **Requirements for Structural Concrete and commentary**. America Concrete Institute. Michigan, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 6118:2003. **Projeto de Estruturas**. Procedimento. Anexo A (informativo). Efeito do tempo no concreto estrutural, Rio de Janeiro, 2014.