

PROJETO DE PESQUISA SOBRE AS DEFORMAÇÕES DELETÉRIAS DA ARGAMASSA À BASE DE CIMENTO GEOPOLÍMERO

Bianca Batista de Almeida (IC) e Alfonso Pappalardo (Orientador)

Apoio: PIBIC CNPq

RESUMO

Devido o grande potencial da argamassa geopolimérica para a construção civil, tornase necessário o aprofundamento dos estudos sobre o material, assim, este trabalho compreende na identificação da fluência à tração na flexão em argamassas geopoliméricas para a caracterização do comportamento estrutural ao longo do tempo, e a importância da retração na fluência. Inicialmente, será apresentado o conceito do cimento Portland comum e do cimento geopolimérico. Sabe-se que o cimento obtido por ativação alcalina apresenta apreciáveis vantagens como ganho rápido de resistência, elevada resistência ao fogo, entre outras, além da baixa emissão de carbono para a atmosfera, se comparado ao cimento Portland comum. Por ser um material mais ecologico, sua utilização reforça o conceito de arquitetura sustentável que utiliza materiais de construção que geram o menor impacto ambiental e maiores ganhos sociais, sem, contudo, ser inviável economicamente. O modelo “mini-beam” foi utilizado para o ensaio de fluência à tração na flexão em quatro pontos, como uma alternativa de avaliar a deformação ao longo do tempo. Considerou-se a carga constante ao longo do tempo e correspondente ao momento de fissuração. O ensaio de fluência foi realizado em ambiente com temperatura e umidade controladas. Tais estudos contribuem para a descrição dos efeitos de longa duração para a mitigação dos efeitos patológicos quando utilizado o composto de argamassas geopoliméricas.

Palavras-chave: Retração, Fluência, Argamassa Geopolimérica, Mini-Beam

ABSTRACT

The great potential of the geopolymer for the civil construction, it is necessary to deepen the studies on the material, so, this work is in the identification of the flexural flexibility of geopolimetric mortars for the characterization of the structural behavior over time and the importance of the retraction in fluency. Initially, the concept of common Portland cement and geopolymer cement will be presented. It is known that what is new to connect the alcohol industry such as the war rapid, fire resistance, among others, in addition to having a carbon grant to the atmosphere, have their Portland behavior common. Being a more environmentally friendly material, its use reinforce the concept of sustainable energy, use construction materials that generate the least environmental impact and the largest. The "mini-beam" model was used

for four-point flexural fluence analysis as an alternative to evaluate deformation over time. Consider a constant load over time and corresponding to the time of cracking. The creep test was performed in an environment with temperature and controlled humidity. These studies contributed to the description of the properties of the exercise to mitigate pathological effects when using the compound of geopolymeric mortars.

Keywords: Shrinkage, Creep, Geopolymeric Mortar, Mini-Beam

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a criação de obras mais inovadoras e sustentáveis vem tomando mais destaque, dessa maneira, tornou-se necessário desenvolver materiais cada vez mais resistentes, menos poluentes, duráveis e acima de tudo, que apresentam uma relação custo benefício favorável. Nesse contexto, surgiu o cimento geopolimérico.

Os estudos desenvolvidos com o cimento geopolimérico vem revelando muitas vantagens, uma vez que, para a sua fabricação a emissão de CO₂ é consideravelmente reduzida comparado com a concepção do cimento Portland, tornando esse material uma nova alternativa para elaborar construções mais sustentáveis.

O material precursor utilizado na composição do cimento geopolimérico para o estudo, será o metacaulim ativado por solução de silicato de potássio. Devido à escassez de estudos direcionados à este material, se torna fundamental uma análise aprofundada de suas características. Para avaliar a utilização deste cimento na construção civil, é imprescindível conhecer o comportamento de tais estruturas e, principalmente, seu comportamento futuro, aguçam a necessidade de um estudo mais aprofundado (NEVILLE [1997]). Assim, neste trabalho destacam-se os estudos de uma característica mecânica importante que é a deformação lenta ao longo do tempo devido a uma tensão constante. A determinação de tais deformações, auxiliará a prevenir futuras patologias que possam comprometer a estrutura das construções. Este fenômeno da deformações denomina-se fluência.

Devido a baixa capacidade de resistência à tração do cimento, isto gera impactos negativos na vida útil de estruturas. Assim, este trabalho decidiu-se focar no estudo da fluência à tração na flexão. O ensaio de fluência à tração direta não pode ser realizado em equipamentos convencionais, além dos resultados poderem sofrer grande variabilidade devido as microfissuras e fenômenos higrométricos associados aos corpos de prova. Uma das maneiras de superar estes problemas é obter os dados no ensaio de fluência à tração na flexão, uma vez que promoveria condições favoráveis, diante dos efeitos acima apresentados (Ranaivomanana, Multon et al., 2013a). Assim, como uma alternativa mais praticável, serão realizados testes em fluência à tração na flexão, através do modelo mini-beam.

Para obter resultados mais fieis à realidade, foram executados corpos de prova no traço adequado de cimento geopolimérico a base de metacaulim e o modelo “mini beam” foi empregado para a realização do ensaio. Além disso, utilizou-se a extrapolações, isto é, o ensaio foi feito durante um tempo mais curto e, a partir da deformação obtida nesse intervalo, estimou-se o comportamento do material por um período maior.

Sendo assim, o objetivo principal desse trabalho é aprimorar o conhecimento do comportamento de estruturas de cimento geopolimérico, no que diz respeito a suas deformações ao longo do tempo devido a uma tensão constante denominada fluência.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cimento do Tipo Portland

O cimento Portland é um dos mais importantes materiais de construção e altamente empregado pela humanidade. Caracteriza-se como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece em contato com a água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe (ABCP, 2002).

O cimento Portland é composto basicamente pelo clínquer, que é uma mistura de calcário e argila. O clínquer tem como função principal dar a resistência mecânica que o material precisa. Além dele, o cimento é composto por adições. Segundo Linhares (2010), essas substâncias adicionais são misturadas ao clínquer do cimento Portland, com o objetivo de melhorar suas propriedades, sendo possível conseguir cimentos com características especiais, como alta resistência inicial ou baixo calor de hidratação.

Há tempos havia no Brasil, praticamente, um único tipo de cimento Portland. Atualmente, o Brasil é o 6º maior produtor de cimento do mundo, com 81 fábricas operando em seu território, pertencentes a 15 grupos industriais nacionais e estrangeiros (SNIC, 2011). Com a evolução dos conhecimentos técnicos sobre o assunto, foram sendo fabricados novos tipos. A maioria dos tipos de cimento Portland hoje existentes no mercado servem para o uso geral. Alguns deles, entretanto, tem certas características e propriedades que os tornam mais adequados para determinados usos, permitindo que se obtenha um concreto ou uma argamassa com a resistência e durabilidade desejadas de forma bem econômica.

O processo de fabricação do cimento exige um alto consumo de energia. Segundo EPE (2013), mais de 80% é referente ao consumo de energia térmica durante a queima dos combustíveis para a produção do clínquer, o principal componente do cimento Portland. Portanto, a indústria cimenteira é responsável por grandes impactos ambientais no meio antrópico, biótico e físico. Esses impactos são provocados principalmente, pela emissão dos gases poluentes provenientes dessa queima. Um exemplo é a emissão de CO₂, um dos principais gases de efeito estufa. Assim, indústria do cimento é responsável por cerca de 5% do CO₂ de fonte antrópica liberado anualmente na atmosfera (WBCSD, 2009).

Sob a orientação do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD - Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável), a Cement Sustainable Initiative (CSI - Iniciativa para a Sustentabilidade do Cimento) encomendou um vasto programa de pesquisa sobre o impacto da indústria do cimento em nível mundial e trabalhou para desenvolver um plano de ação, de modo a encontrar formas para melhorar a sustentabilidade da produção do cimento. Uma das tendências mundiais de redução do clínquer na produção do cimento, é sua substituição por pós-reativos provenientes de resíduos de indústrias, siderúrgicas como escoria, cinzas volantes e sílica.

2.2 Cimento Geopolimérico

O termo geopolímero foi introduzido pelo Prof. J. Davidovits em 1981, onde são apresentados vários exemplos de misturas de reagentes e processos de obtenção. Os geopolímeros apresentam características particulares que revelam o seu grande potencial de aplicação como aglomerante, em substituição do cimento Portland.

Os geopolímeros são materiais inorgânicos cuja obtenção se dá pela polimerização das matérias primas naturais de origem geológica contendo aluminossilicatos. O processo de polimerização envolve a reação química sob condições altamente alcalinas dos minerais Al-Si, produzindo a ligação polimérica, Si-O-Al-O. O produto formado pode ser considerado uma rocha sintética cuja estrutura contém uma rede tridimensional amorfa de átomos de silício e alumínio.

O estudo com esse cimento vem revelando um comportamento superior em várias propriedades do cimento Portland, o que faz deste cimento, não apenas um substituto nos concretos e argamassas tradicionais, mas sim um produto de características muito especiais, para ser utilizado nas condições onde as propriedades do cimento Portland são insuficientes. As vantagens do cimento geopolimérico são:

- Baixo impacto ambiental, devido à redução de emissão de CO₂, a possibilidade de uso de resíduos industriais ou provenientes da construção civil, além de sua produção não solicitar grande quantidade de energia, assim, contribuindo para o desenvolvimento ecológico.
- Boa estabilidade volumétrica: geopolímeros possuem um coeficiente de retração 4/5 inferior ao cimento Portland;
- Ganho rápido de resistência: estudos indicam que os geopolímeros adquirem cerca de 70% da resistência à compressão em 4 horas, podendo, ser solução para trabalhos que exigem rápida liberação para uso;
- Elevada resistência ao fogo, resistindo à temperaturas de 1000°C a 1200°C sem perder características funcionais;
- Tem melhor acabamento, que em muitos casos proporcionara redução significativa de custos com eliminação dessa etapa;
- Os geopolímeros tem um campo de aplicação muito vasto, que vai desde, reforço estrutural, geotecnia reabilitação em estruturas que estejam sujeitas a ataques de ácidos.

2.2.1 Metacaulim (Precursor)

O metacaulim é o material de partida utilizado na composição do cimento geopolimérico neste estudo, como o composto precursor contendo aluminossilicato que sofrera uma reação

no meio alcalino. Este foi o tipo de material álcali-ativado que o Davidovits baseou a maior parte de suas pesquisas.

O metacaulim são obtidos por desidroxilação à temperatura de 750°C dos caulinos, processo em que se verifica uma perda de água de constituição, resultando na alteração da coordenação do alumínio com o oxigênio que resultará em Si_2O_5 , Al_2O_2 que designa o óxido de aluminossilicato.

A fase de tratamento térmico é uma etapa essencial para a produção do metacaulim, já que, o tempo de exposição do material à altas temperaturas é o que resultará na eficácia da ativação alcalina para o material.

A temperatura de calcinação (entre 600°C e 780°C) é muito inferior à que é tradicionalmente necessária para produzir a clinquerização do cimento Portland em torno de 1400°C, sendo assim, à uma significativa poupança energética e menor produção de CO_2 em sua fabricação. Dessa forma, sendo mais sustentável que o cimento Portland.

2.2.2 Solução Alcalina (Ativador)

O tipo de ativador alcalino desempenha um papel importante na reação de polimerização, desenvolvendo a reação mais rapidamente quando contiver silicato solúvel de sódio ou potássio (ativador composto) ao invés de somente hidróxidos alcalinos (ativador simples).

Segundo estudos de Palomo A., Glasser, F.P. (1992), as principais substâncias ativadoras são o hidróxido de potássio, o carbonato de sódio e principalmente o silicato de potássio. Também podem usar-se com bom resultado, misturas de ativadores como por exemplo NaOH , Na_2CO_3 e Ca(OH)_2 .

2.3 Deformações Deletérias em Concreto e Argamassa

Devido o advento de novas tecnologias para as construções, aos avanços dos processos construtivos e a ênfase crescente na redução dos prazos nas obras, revelou-se necessário estudo de novos materiais e, principalmente, de suas deformações. As deformações sofridas pelas edificações dependem de uma série de fatores, entre os quais está a fluência e a retração por secagem e que exercem marcante influência no comportamento estrutural a longo prazo.

2.3.1 Fluência

Define-se por fluência ou deformação lenta a deformação que o concreto sofre devido a um carregamento externo, que é mantido ao longo do tempo. Esta deformação é mais rápida no início; diminuindo depois com o tempo, tendendo assintoticamente a um valor limite.

Segundo a NBR 8448, a deformação por fluência é determinada em uma certa idade, pela diferença entre a deformação total e a soma das deformações independentes da permanência do carregamento ao longo do tempo e se decompõe nas seguintes deformações:

- Deformação imediata do concreto: deformação elástica, a qual ocorre imediatamente, mas desaparece inteiramente no momento em que a carga é removida.
- Deformação autógena, que cresce no decorrer do tempo: deformação que é parcialmente reversível.

É bem conhecida a perda de protensão devido à fluência, o que contribui para a falha de todas as tentativas de protensão muito antecipada. Só o aparecimento dos aços de alta resistência, cuja deformação é várias vezes maior do que a contração do concreto, por retração e fluência, é que tornou possível a protensão.

Verifica-se, na prática que a fluência é função de vários fatores, que interagem simultaneamente. A interligação desses fatores é complexa e de difícil entendimento. Os principais fatores que influenciam são:

- Umidade do ar: NEVILLE [1997] afirma que um dos fatores mais importantes que atuam sobre a fluência é a umidade relativa do ar que envolve o concreto, a fluência é tanto maior quanto mais baixa a umidade relativa do ar.
- Resistência do concreto: Dentro de amplos limites, a fluência final é inversamente proporcional à resistência do concreto no momento da aplicação da carga.
- Idade do carregamento: A deformação de fluência será tanto menor quanto maior for a idade do concreto no momento do carregamento
- Temperatura ambiente: A deformação de fluência será tanto maior quanto mais elevada for a temperatura durante o carregamento. Para temperaturas abaixo de 5°C, deformação lenta praticamente cessa. Por outro lado, para temperaturas acima de 20°C a fluência aumenta. METHA & MONTEIRO [1994] relatam que se uma peça de concreto é
- exposta a uma temperatura maior que a ambiente como parte processo de cura, antes de ser carregada, a resistência aumentará e a deformação por fluência será um tanto menor do que de um concreto armazenado a uma temperatura mais baixa.
- Tipo de cimento: O tipo de cimento altera a fluência, na média em que influencia a resistência do concreto no momento de aplicação de carga. Por isso, qualquer comparação de concreto preparados com cimentos diferentes deve levar em conta o efeito do tipo do cimento sobre a resistência às primeiras idades do concreto.
- Relação A/C: Maiores consumos de água aumentam a deformação lenta. Para produzir um concreto que apresente pequena deformação, deve-se, por exemplo, manter baixa a relação A/C.

- Intensidade de Carga: Quando maior for a intensidade da carga aplicada numa estrutura de concreto, maior será a sua deformação lenta.

2.3.2 Retração

Além da deformação devido à carga aplicada, há deformações inerentes do concreto causadas pela perda de água, denominada de deformação por retração.

A retração é o nome do fenômeno no qual ocorre o aumento gradual da deformação de um elemento devido à sua exposição em ambiente externo com umidade relativa inferior à saturação da pasta de cimento, bem como, as reações químicas relativas às próprias características do material, como grau de hidratação, microestrutura do concreto e componentes da mistura.

De acordo com GILBERT e RANZI (2011), é possível segmentar a deformação por retração em quatro componentes: plástica, química, térmica e por secagem. A retração plástica ocorre quando a mistura do concreto ainda está viscosa e, posteriormente, ocorrem as retrações química, térmica e por secagem. Entretanto, a retração por secagem é a que influencia mais os resultados do ensaio de fluência, por isso, é importante sua determinação.

A magnitude dos efeitos da deformação por retração diminui com:

- o aumento da resistência característica do concreto;
- o aumento do módulo de elasticidade do agregado;
- o aumento do tamanho do agregado

Por outro lado, a magnitude dos efeitos da deformação por retração aumenta com:

- o aumento do fator água cimento;
- o aumento da temperatura ambiente;
- o aumento da superfície de contato entre a peça de concreto e o ambiente externo.

2.3.3 Método Mini-beam

Conforme estudos realizados nos materiais compostos por cimento Portland, conclui-se sua deficiência em resistir a esforços de tração. Dessa maneira, é reconhecida a importância do aprofundamento dos conhecimentos sobre a fluência em tração dos cimentos e argamassas, atendendo à variedade de aspectos por este mecanismo e por influenciar a fissuração.

Para realizar este estudo, utilizou-se o modelo proposto por Sanjayan, Nicolas e Deventer, como alternativa de estudo da deformação lenta à tração na argamassa

geopolimérica, em que, o corpo de prova é uma placa de 350 mm de comprimento, 50 mm de largura e 10 mm de espessura, chamada de mini-beam.

Por ser um ensaio de pequenas proporções, é uma alternativa para realizar o experimento sem a necessidade de utilizar uma carga elevada. O carregamento é efetuado em quatro pontos, e a deformação é medida a partir deflexão do corpo de prova.

Este teste de fluência foi projetado para amostras de tamanho pequeno como uma forma de acelerar a coleta de dados de deformação da argamassa.

3. METODOLOGIA

3.1 Objetivo

O programa experimental tem como objetivo caracterizar em laboratório a deformabilidade ao longo do tempo por fluência e retração no corpo de prova de argamassa geopolimérica, e por fim, traçar a curva e calcular o coeficiente de fluência à tração na flexão.

3.2 Ensaio de Fluência

Baseado na metodologia mini-beam, os dados do ensaio fluência são coletados a partir da deflexão do corpo de prova com carga aplicada em quatro pontos a uma temperatura de $T = 25^{\circ}\text{C}$ e umidade de $U = 85\%$.

3.2.1.1 Corpo de prova

O ensaio de fluência foi realizado por um método mini-beam, considerado de pequenas proporções, dessa maneira, o estudo foi realizado em um corpo de prova de argamassa geopolimérica. O traço utilizado de metacaulim (percurso), solução alcalina (ativador) e areia seguiram as especificações do fabricante.

Devidos as dimensões do corpo de prova utilizado neste ensaio não serem usuais, foram elaborados fôrmas feitas de MDF nas dimensões de 350x50x10. Preocupou-se em utilizar um material para as fôrmas, que a superfície interna fosse lisa de forma que, o corpo de prova resultante não ficasse fora das dimensões exatas e assim influenciasse o resultado.

Durante a moldagem, houve um cuidado com adensamento do material e a cura dos corpos de prova para que fosse realizado em ambiente com temperatura e umidade controlada.

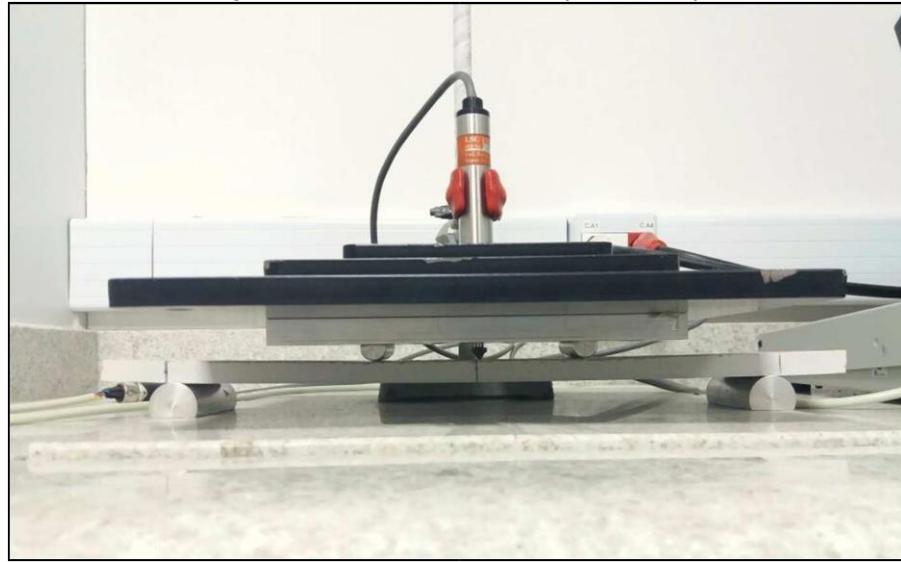
Após a cura, os corpos de prova foram envelopados para serem armazenados até a data do ensaio, e assim, não sofrerem com retração por secagem.

3.2.1.2 Equipamentos

Para o ensaio, pode-se dividir a instrumentação em equipamentos para aplicação da carga e para monitoração.

A aplicação do carregamento foi realizada em quatro pontos, conforme estabelecido pelo método mini-beam. Elaborou-se um dispositivo de aplicação de carga de forma que os quatro pontos sejam igualmente espaçados. Sobre o mesmo foi aplicada uma carga constante ao longo do tempo.

Figura 01: Ensaio de fluência (Mini-beam).

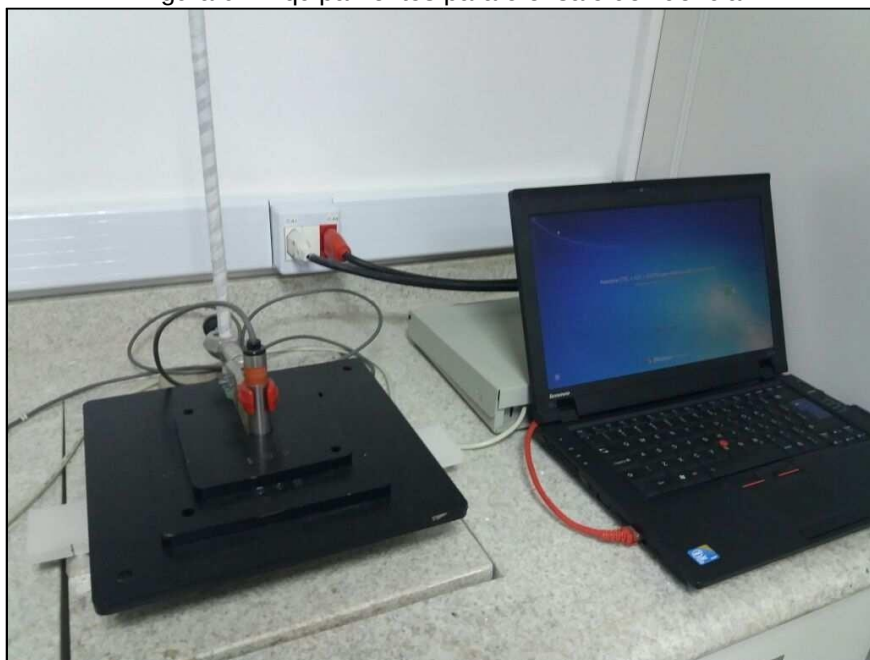


Fonte: Autoria própria.

Para o monitoramento, utilizou-se um transdutor para extrair as deformações por fluência da peça, em que, o aparelho foi posicionado diretamente na peça e situado no meio do vão, aonde se encontra as maiores deflexões. O transdutor envia sinais até um conversor A/D, que converte o sinal analógico em dados digitais, assim, esse sinal digitalizado pode então ser manipulado. O Programa de aquisição de sinais utilizados foi o AqDados 7.02 da Lynx. Depois da deformação estabilizada e terminado o ensaio, utiliza-se um programa de análise de sinais, AqDAnalysis 7 da Linx.

Por fim, após coletar e analisar os dados, o resultados foram manipulados de forma que representasse de forma mais fiel possível a curva de deformação da argamassa.

Figura 02: Equipamentos para o ensaio de fluência.



Fonte: Autoria própria.

3.2.1.3 Carregamento

Os corpos de prova foram carregados com 7 dias de idade e carga equivalente ao momento de fissuração do concreto, calculado com F_{ck} 35 MPa conforme estabelecido pelo fabricante. A carga resultante pelo cálculo do momento de fissuração foi aplicado totalmente no momento que se iniciou a aquisição de dados.

3.2.1.4 Cálculo do Coeficiente de Fluência

Os resultados experimentais obtidos do ensaio de fluência correspondem à deformação total, ou seja, a somatória da flecha imediata e por fluência.

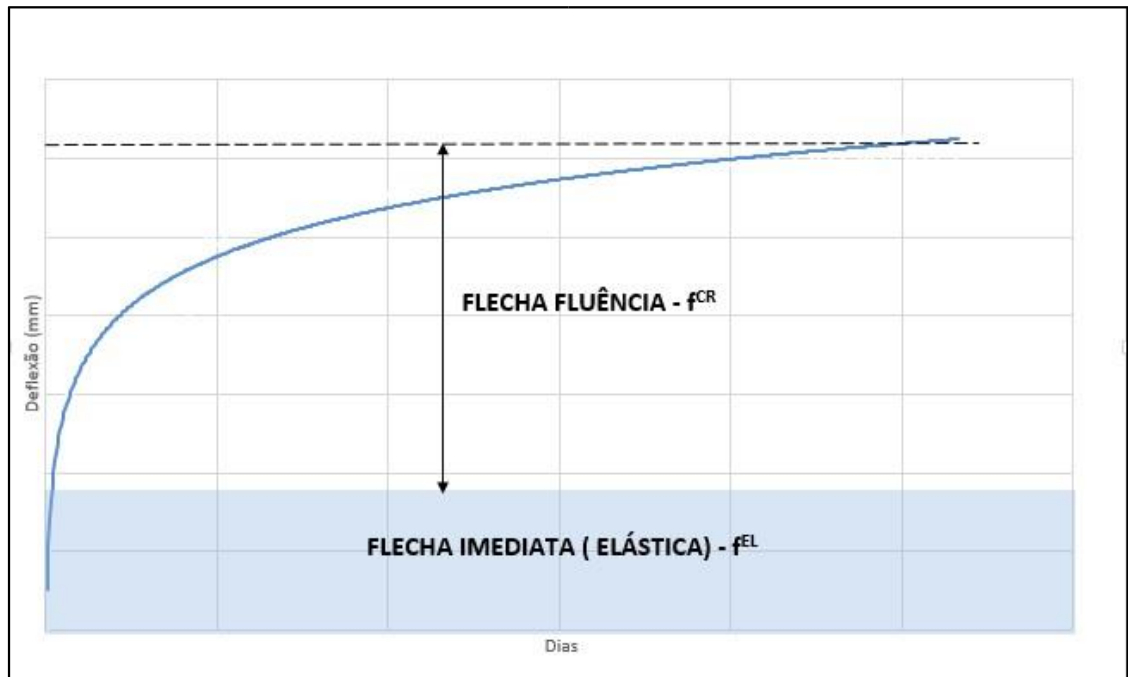
$$f_{tot} = f_{el} + f_{cr} \quad (\text{Eq. 1})$$

f_{tot} - Flecha total

f_{el} - Flecha imediata (Elástica)

f_{cr} - Flecha por Fluência

Figura 03: Exemplo Curva de Flecha Diferida no Tempo Devida à Tração na Flexão



Fonte: Autoria própria.

A flecha total é resultante da deflexão total (f^{tot}) ocorrida no corpo de prova durante o ensaio de fluência à tração na flexão pelo Método mini-beam. A flecha de fluência imediata (f^{el}) foi obtida através do programa Ftool em que foi modelado uma barra bi apoiada e carga aplicada em seus terços. Por meio de estudo, concluiu-se que a flecha por fluência (f^{cr}) é uma parcela da flecha imediata (f^{el}), e o coeficiente que multiplica a deflexão imediata denomina-se coeficiente de fluência (ϕ) (Eq. 4)

$$f_{tot} = f_{el} + f_c \quad (\text{Eq. 2})$$

$$f^{cr} = \phi f^{el} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$f_{tot} = f_{el} + \phi f_{el} = f_{el} (1 + \phi)$$

$$\phi = \frac{f_{tot}}{f_{el}} - 1 \quad (\text{Eq. 4})$$

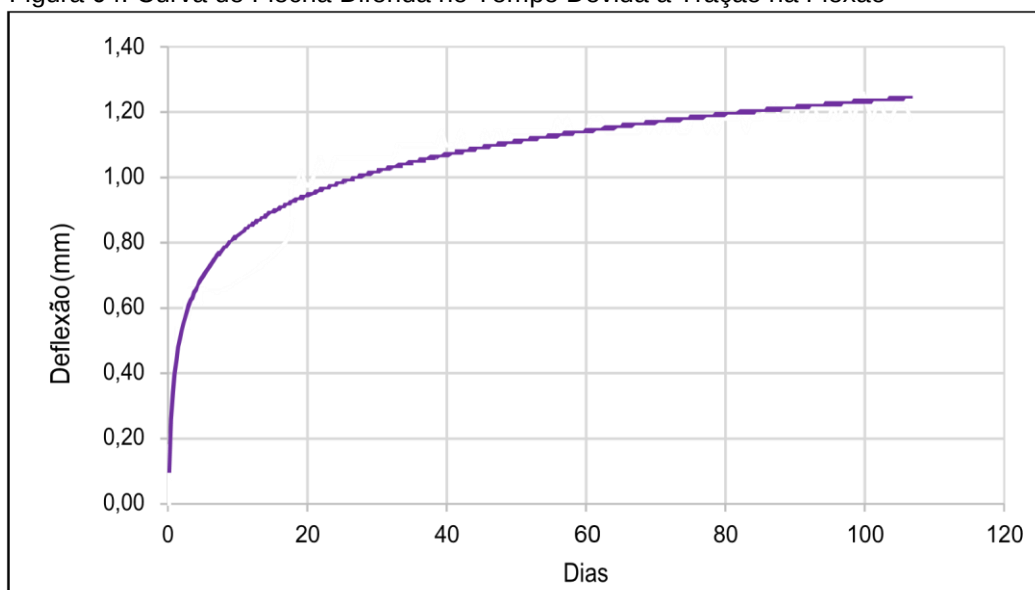
4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Após os ensaios realizados, os dados foram analisados e os resultados foram transformados em um gráfico para o melhor entendimento.

4.1 Curva Resultante da Deformação Lenta ao Longo do Tempo

A Figura 04 representa o gráfico da curva de fluência resultante do ensaio baseado no método mini-beam, com carga aplicada durante aproximadamente 3 meses.

Figura 04: Curva de Flecha Diferida no Tempo Devida à Tração na Flexão



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o gráfico, a curva de fluência à tração na flexão resulta em uma deformação máxima de 1,23 mm. Através do modelo realizado pelo programa Ftool foi determinado a flecha imediata (elástica) de 0,28 mm. Assim, utilizando a formula descrita no item 3.2.1.4 resultou uma deformação por fluência de 0,95 mm.

Dessa maneira, utilizando as flechas elástica e a flecha por fluência, calculou-se um coeficiente de fluência de 3,4. Esse resultado expressa um coeficiente para previsão do comportamento estrutural futuro da estrutura devido a fluência à tração na flexão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a realizar este estudo, com o objetivo de investigar o coeficiente de fluência à tração na flexão, utilizou-se como referência o Método Mini-Beam para simular a condição de flexão na estrutura, e assim, prever os danos futuros. Este método foi escolhido, pois, foram encontrado limitações para realizar o ensaio de fluência convencional, devido à alta quantidade de carga necessária, dessa maneira, utilizou-se esta metodologia que é considerada de pequenas proporções, sendo assim, uma alternativa para realizar o experimento sem a necessidade de utilizar uma carga elevada.

Este estudo foi realizado com uma idade de 7 dias do corpo de prova, no entanto, se utilizamos outras idades para efetuar o ensaio, o resultado seria distinto, pois, como visto na literatura, quanto menor a idade do concreto, maior o coeficiente fluência. Outros fatores que se alterados, influenciam no valor do coeficiente de fluência são: umidade do ar, temperatura, relação água/cimento, entre outros.

A retração é um fenômeno que ocorre o encolhimento da peça por perda de água e acontece em paralelo à fluência. Este tem uma papel importante na deformação da estrutura, sendo assim, é imprescindível um estudo aprofundado sobre este assunto. Porém, neste trabalho apresentou-se apenas o conceito da retração e sua relevância quando se estuda as deformação devetérias, além de citarmos os fatores que influenciam este fenômeno.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto Endurecido – Determinação da Fluência** – NBR 8224, Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

C. H. UN; J. G. SANJAYAN¹; R. SAN NICOLAS; AND J. S. J. VAN DEVENTER. **Mini-Beam Test for Assessing the Creep Trend of Paste, Mortar, and Concrete**; Austrália, 2015

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **“Balanço Energético Nacional”**. [S.I.]: EPE, 2013. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 15 de Jul 2017.

GILBERT, R. I. e RANZI, G., 2011, **Time Dependent Behaviour of Concrete Structures**, 1ed. USA e Canada, Spon Press.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M.; **Concreto : Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

NEVILLE, A.M.; DILGER, W.H; **Creep of Concrete – Plain, Reinforced and Prestressed** – North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1970.

PALOMO, A., GLASSER, F.P (1992). **“Chemically-bonded Cementitious Materials Based on Metakaolin”**, Br. Ceram. Trans. Journal, 91, pp. 107-112

RANAIVOMANANA, N., MULTON, S. AND TURATSINZE, A. (2013a), **“Tensile, compressive and flexural basic creep of concrete at different stress levels.”** Cement and Concrete Research 52(0): 1-10.

SNIC – **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento**. Press Kit 2011. [S.I.]: SNIC, 2011. Disponível em: . Acesso em: 6 de Jul, 2017.

TEIXEIRA PINTO, A.; **Sistemas Ligantes Obtidos por Activação Alcalina do Metacaulino**, Tese de Doutorado, Universidade do Minho, 2004

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. **“Cement Technology Roadmap 2009: Carbon emissions reductions up to 2050”**. WBCSD, 2009. 36 p. Disponível em: Acesso em: 8 de Jun. de 2017.

Contatos:

Bianca Batista de Almeida, e-mail: biancabatist@hotmail.com

Alfonso Pappalardo, e-mail: alfonso.pappalardo@mackenzie.br