

Análise da Influência dos Reescoramentos no Comportamento Estrutural de Elementos em Concreto Armado

Keith Danila Aquino Neves¹, Júlia Borges dos Santos²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás /kdanila@hotmail.com

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/ julia.santos@ifg.edu.br

Resumo

Existem poucos trabalhos publicados sobre a influência no comportamento estrutural ocasionadas por métodos construtivos. Habitualmente as análises estruturais se baseiam em uma edificação construída, considerando a atuação de todas as solicitações ao qual foi projetada. Porém, durante a execução das edificações, as cargas de construção não coincidem com o projeto, e em alguns casos começam a atuar quando o concreto não atingiu sua resistência máxima. Podem ocorrer mudanças nas condições de apoio dos elementos da estrutura, tendo como consequência alterações não previstas em projeto no comportamento estrutural. O sistema de escoramento é um exemplo de processo construtivo que, se for executado de maneira inadequada, influenciará diretamente no desempenho da estrutura, podendo provocar fissuração e deslocamentos não previstos. A NBR 14931/2004, que trata da execução de estruturas de concreto, cita que o sistema de escoramento deve ser executado de maneira que não possam ocorrer cargas não previstas, podendo ser retirado após análise prévia do comportamento da estrutura, realizado pelo responsável estrutural. Para vãos pequenos as diferenças são menores no comportamento da estrutura. É importante conhecer e quantificar como o posicionamento incorreto dos reescoramentos pode colocar a segurança estrutural em risco. Os resultados desta pesquisa permitiram conhecer mais precisamente as relações entre vãos e carregamentos para as quais a influência dos processos construtivos pode ser considerável, além de reforçar que a prática da engenharia civil deve ser realizada com a presença de profissional habilitado e respeitando as prescrições normativas vigentes.

Palavras-chave

Análise estrutural; comportamento estrutural; reescoramentos; esquema estático; concreto armado.

Introdução

A análise estrutural convencional de edificações em concreto armado, na maioria das vezes, não considera a influência do processo construtivo na elaboração dos projetos estruturais. No entanto, os processos ocorridos durante a execução da edificação podem ocasionar mudanças no esquema estático dos elementos estruturais, provocando solicitações para as quais os elementos não foram projetados inicialmente. Apesar disso, ainda existem poucos trabalhos publicados que avaliaram a influência da execução das edificações no comportamento estrutural.

Vivacqua (2009) em seus estudos verificou como se comporta a estrutura com escoramentos de pavimentos superiores sobre os pavimentos inferiores. Foram analisados os ciclos construtivos e níveis para diversas dimensões de lajes a fim de

observar qual a sua influência nas estruturas e a quantidade de escoramentos necessários para as lajes estudadas. Em seus resultados, foi verificado que a quantidade e posicionamento das escoras modificavam os momentos atuantes nas lajes em fase executiva, e que em lajes de menores dimensões essa influência tinha maior variação, pois eram necessárias menos escoras.

Prado (1999) estudou os comportamentos estruturais em vigas e lajes sujeitas às ações de construção, através de simulações numéricas que levavam em consideração a sequência de execução do reescoramento, das formas e lançamento de concreto. A partir dos resultados, observou-se que, embora a análise feita nas vigas gerasse variações significativas no momento fletor se comparada à execução ao comportamento de projeto, o método da sequência de construção não ia contra a segurança nesses pontos. Destacando-se que essas variações eram irrelevantes em lajes, e embora os esforços cortantes em vigas também se alteravam, estes tinham uma margem de segurança muito elevada.

De acordo com Vieira (2008), algumas construtoras adotam o método de deixar algumas escoras em elementos de lajes ou vigas recém concretados, visando minimizar os efeitos consequentes da retirada precoces dos escoramentos. O procedimento é chamado de reescoramento, ou escoramento remanescente, e é apontado na ABNT NBR 14.931/2004 como uma forma de redução de carregamentos iniciais e de deformação excessiva, desde que sejam respeitadas algumas orientações. Já a ABNT NBR 15.696/2009 estabelece que o projeto de reescoramento deve conter a verificação da capacidade de carga de pavimentos inferiores, quando houver em diversas idades aplicação de cargas resultantes de concretagem posteriores; e também, a verificação da capacidade de carga de pavimentos superiores devido à aplicação de carga em diversas idades, resultante da retirada das escoras de um nível inferior.

Esta prática comum, quando não realizada de maneira adequada, pode ocasionar o surgimento de fissuras, conforme ilustrado na Figura 1. Estudos realizados apontam que 70% dos colapsos que ocorrem em estruturas de concreto armado estão relacionados com complicações e erros no processo construtivo, nomeadamente cargas excessivas sobre escoras e remoção prematura dos sistemas de escoramento e fôrmas (SIMAVORIAN apud RODRIGUES, 1996).



Figura 1 – (a) Utilização incorreta de reescoramento (b) fissura consequente de momento negativo devido a posição incorreta do escoramento (Vieira (2008)).

Esta pesquisa tem como objetivo analisar como a utilização de eventuais reescoramentos não previstos em projeto podem modificar as condições de apoio dos elementos, e, conseqüentemente, provocar alterações nos valores de armaduras

necessárias. Para tanto, os resultados de dois modelos distintos foram comparados, um modelo de que considera a posição de reescoramentos utilizados durante a fase de execução da obra, e um modelo de projeto sem a previsão de influências dos processos construtivos.

Metodologia

As análises propostas nesta pesquisa tiveram como finalidade realizar simulações numéricas se baseando em situações práticas. Portanto, foram realizadas pelo software de cálculo estrutural comercial TQS®, na Versão 19.11.61.

Para o estudo do comportamento das vigas, foram utilizados três modelos de edificações com dois pavimentos. Foi analisada a influência do posicionamento de reescoramentos no comportamento estrutural das vigas, supondo, para cada modelo, a posição mais crítica do reescoramento.

O Modelo 1 trata de uma viga com dois apoios e um balanço, analisando o reescoramento posicionado tanto no vão da viga, como na extremidade do balanço, conforme ilustrado na Figura 2 (a). O Modelo 2 trata de uma viga com dois apoios, analisando a influência do reescoramento posicionado no meio do vão da viga, conforme ilustrado na Figura 2 (b). Já no Modelo 3, foi analisada uma viga contínua com dois vãos, posicionando o reescoramento no meio de cada vão simultaneamente, conforme ilustrado na Figura 2 (c). Vale ressaltar que o programa computacional irá determinar os esforços por meio de um pórtico espacial, e não como vigas isoladas. A escolha dos modelos foi realizada para tentar reproduzir diferentes comportamentos estruturais.

Para cada modelo foi realizada uma variação nos valores dos vãos das vigas, a fim de comparar se existe um vão crítico para a influência do reescoramento em determinadas variáveis analisadas. A relação de vãos para os modelos e sua respectiva terminologia está apresentada dada na Tabela 1.

Para cada modelo e valor de vão, foram analisados os resultados de duas situações distintas: um modelo de projeto, e um modelo de execução, no qual está posicionado um reescoramento, cuja posição depende de cada modelo.

Os modelos para o caso de projeto foram calculados com resistência à compressão do concreto de 25 MPa e classe de agressividade ambiental II. Primeiramente, este modelo foi dimensionado e verificado, respeitando as exigências normativas. As lajes possuíam altura igual a 10 cm, sendo a laje da cobertura com sobrecarga igual a 0,5 kN/m² enquanto a laje do pavimento térreo igual a 1,5 kN/m², conforme orientações da ABNT NBR 6120/1980. As vigas possuíam largura iguais a 14 cm, e alturas pré-dimensionadas iguais a 10% do comprimento do vão, fazendo-se posterior verificação. Foram inseridos carregamentos de alvenaria de tijolo cerâmico nas vigas.

Para o modelo de execução, foram utilizadas mesmas situações geométricas dos elementos estruturais, visando simular que o modelo projeto seria executado, porém, com sobrecargas e resistência à compressão do concreto diferentes. É recorrente observar nas obras a retirada dos escoramentos sendo realizado o mais precocemente possível, visando priorizar o cumprimento dos prazos de execução. Para considerar um modelo executivo o mais próximo da realidade prática, e, tendo em vista a ausência de valores específicos nas normas vigentes, foi considerado que o escoramento

remanescente seria inserido aos 14 dias após a concretagem, imediatamente após a retirada das fôrmas inferiores e escoramentos.

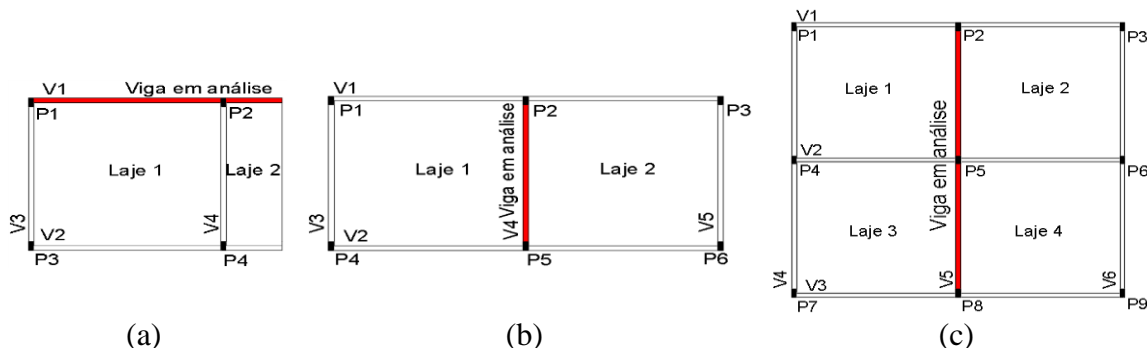


Figura 2 – (a) Modelo 1: viga V1 analisada quanto ao reescoramento, (b) Modelo 2: viga V4 analisada quanto ao reescoramento, (c) Modelo 3: viga V5 analisada quanto ao reescoramento

Tabela 1 - Vãos e terminologia adotada para cada Modelo

| Modelo 1 | | Modelos 2 e 3 | | |
|----------------------|--------------|----------------------------|--------------|--------------|
| Balanço da V1 (m) | Terminologia | Vão das vigas V4/V5 (m) | Terminologia | Terminologia |
| 1,0 | Modelo 1-1 | 4,0 | Modelo 2-1 | Modelo 3-1 |
| 1,5 | Modelo 1-2 | 5,0 | Modelo 2-2 | Modelo 3-2 |
| 2,0 | Modelo 1-3 | 6,0 | Modelo 2-3 | Modelo 3-3 |
| 2,5 | Modelo 1-4 | 7,0 | Modelo 2-4 | Modelo 3-4 |
| - | - | 8,0 | Modelo 2-5 | Modelo 3-5 |

A NBR 15696/2009 estabelece que na retirada de escoramentos deve ser considerado um ciclo de remoção (ou remanejamento) mínimo de 14 dias. Dessa maneira, como o concreto ainda não atingiu a resistência à compressão de projeto, adotou-se a resistência à compressão de vigas e lajes igual a 20 MPa, que corresponde, aproximadamente, a 90% do valor da resistência à compressão esperada aos 28 dias, tendo como referência a curva de ganho de resistência do concreto com cimento CP II, conforme item 12.3.3 da NBR 6118/2014.

Além disso, a NBR 15696/2009 também apresenta recomendações sobre dimensionamento de estruturas de escoramento, reescoramento ou escoramento remanescente, indicando uma sobrecarga de trabalho na execução dos serviços de lançamento, adensamento e acabamento do concreto no mínimo igual a 2,0 kN/m². Sendo assim, este foi o valor utilizado como sobrecarga para considerar os carregamentos da etapa de construção das lajes do pavimento térreo, acrescidas ao seu peso próprio.

O objeto de análise deste trabalho são as vigas do pavimento tipo. Tendo em vista a sequência executiva, a situação considerada para análise foi o momento em que o pavimento térreo já foi concretado, e o pavimento cobertura estará em processo de execução. Sendo assim, como o pavimento cobertura estaria escorado, o peso próprio das lajes e vigas deste pavimento foi desconsiderado. Para simular o reescoramento,

foram adotadas escoras de eucalipto com diâmetro igual a 15 cm, rotulada na viga, visando simular a condição de apoio da viga na escora durante a execução.

Resultados

Para melhor interpretação dos resultados, vale ressaltar que o programa utilizado simula um pórtico espacial, sujeito a ações de vento, peso próprio de toda a estrutura e possíveis sobrecargas. Os esforços obtidos (momento fletor e torsões, força cortante e força normal) são transferidos em forma de envoltórias de vários carregamentos, para então ser realizado o dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais. Foram apresentados resultados em gráficos somente para o Modelo 1-1, Modelo 1-4, Modelo 2-1, Modelo 2-5, Modelo 3-1 e Modelo 3-5, os demais resultados estão descritos no texto.

Para as edificações do Modelo 1, em relação a influência do reescoramento nos momentos fletores das vigas, para os balanços iguais a 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m e 2,5, os resultados obtidos foram apresentados na Figura 3 e Figura 4, respectivamente. Os valores das armaduras longitudinais foram apresentados na Figura 5 e Figura 6. Os pontos utilizados como referência para análise e apresentação dos resultados estão ilustrados esquematicamente nos gráficos.

Analisando os resultados do Modelo 1, em todos os casos, a presença do reescoramento na extremidade do balanço fez surgir no ponto F um momento positivo que não existia no modelo de projeto. Além disso, também reduziu o valor do momento negativo no ponto E. Já a presença da reescora no vão, fez surgir um momento negativo em A, e, em relação ao ponto C, houve uma inversão de momento um positivo no modelo de projeto, para um momento negativo no modelo de execução.

Para o balanço igual a 1 m, no ponto C, a variação de momento foi igual a 519,9 tf.cm. Para o balanço igual a 1,5 m, esta variação foi igual a 479,3 tf.cm. Já para o balanço igual a 2,0 m, a variação foi igual a 430,5 tf.cm, e, no caso do balanço igual a 2,5 m, igual a 368,6 tf.cm. O momento negativo gerado no ponto C, nos modelos de execução, foi menor à medida que se aumentou o valor do balanço. Já o momento positivo gerado no balanço cresceu à medida que se aumentou o comprimento do balanço, chegando a um valor igual 22 tf.cm a para o balanço igual a 2,5 m.

Para todos os valores de balanço, no ponto C, a armadura necessária devido ao posicionamento da reescora foi quatro vezes superior àquela existente em projeto. Em relação à armadura positiva no vão, apesar de ter surgido pequenos valores de momentos positivos, os valores de armadura não se alteraram. Nos pontos A, B, D e E os valores de armadura sempre reduziram no modelo de execução, devido à redução dos respectivos momentos fletores nestes modelos.

Para as edificações do Modelo 2 foram analisados os pontos A, B, C, D e E. Obtendo assim os seguintes resultados dispostos na Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10. A presença da escora posicionada no meio do vão provocou um momento negativo que cresceu à medida que se aumentou o valor do vão. Para os vãos iguais a 4m, 5m, 6m, 7m e 8m, as variações em módulo do valor do momento foram iguais, respectivamente, a 389,72 tf.cm, 777,27 tf.cm, 1882,40 tf.cm e 2492,69 tf.cm. Nos demais pontos, houve redução nos valores de momento em relação ao modelo de projeto.

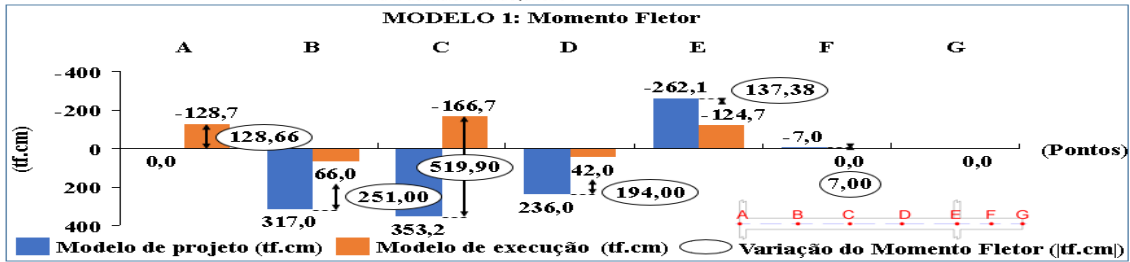


Figura 3 - Modelo 1 – Momento Fletor em cada ponto da viga para balanço igual a 1,0 m

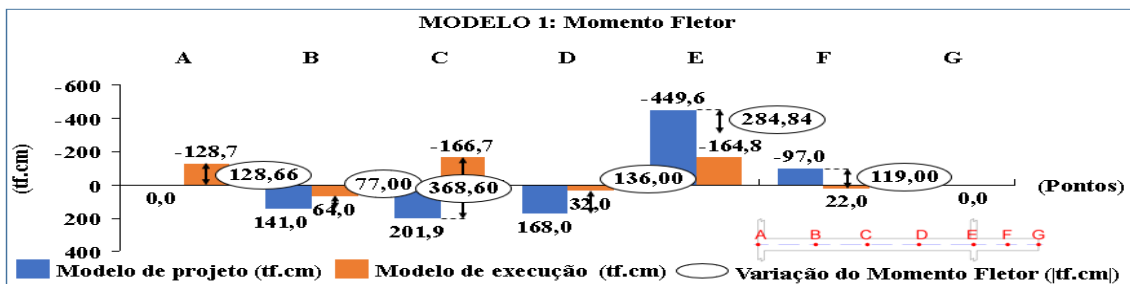


Figura 4 - Modelo 1 – Momento Fletor em cada ponto da viga para balanço igual a 2,5 m

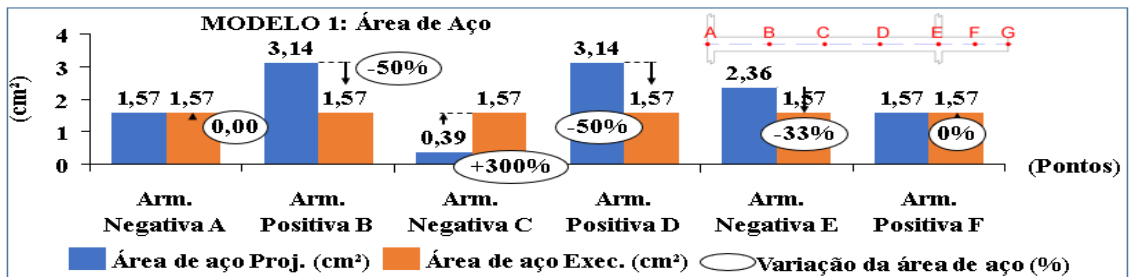


Figura 5 - Modelo 1 – Área de aço em cada ponto da viga para balanço igual a 1,0 m

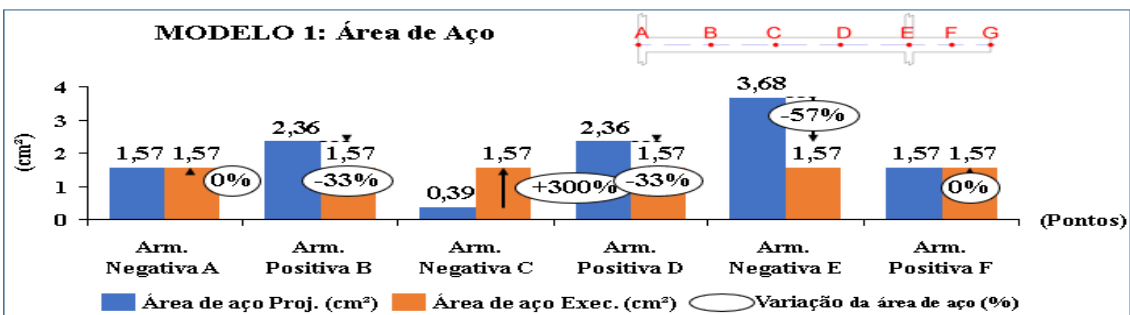


Figura 6 - Modelo 1 – Área de aço em cada ponto da viga para balanço igual a 2,5 m

As grandes variações nos momentos do ponto C ocasionou armaduras negativas nesse ponto, no modelo de execução, bem superiores ao dimensionamento inicial, em todos os casos. Os acréscimos em relação ao modelo de projeto foram iguais a 300%, 500%, 278%, 294% e 404%, para os vãos iguais a 4 m, 5 m, 6 m, 7 m e 8 m, respectivamente.

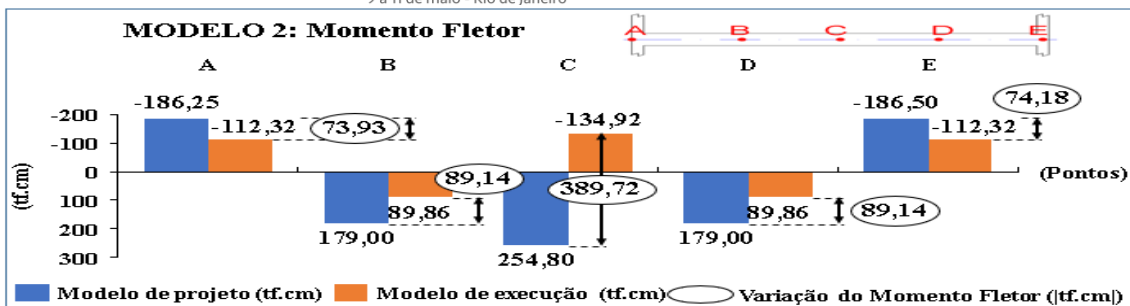


Figura 7 - Modelo 2 – Momento Fletor em cada ponto da viga biapoiada com vão igual a 4,0 m

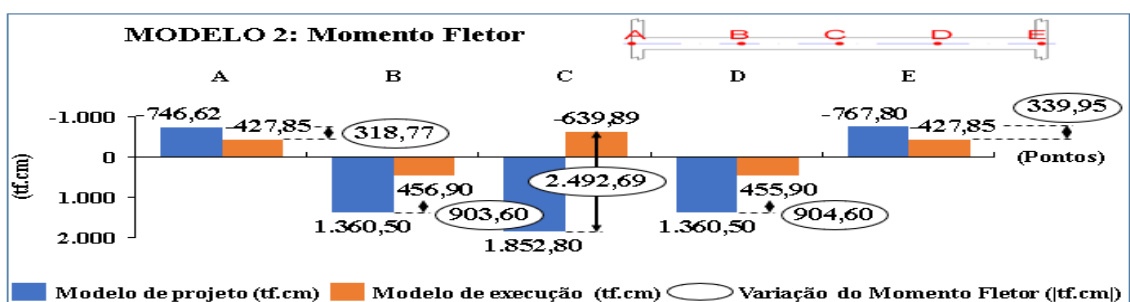


Figura 8 - Modelo 2 – Momento Fletor em cada ponto da viga biapoiada com vão igual a 8,0 m

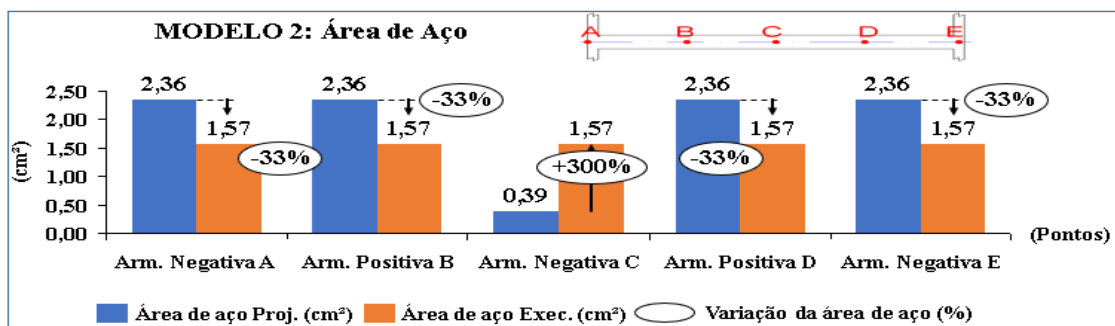


Figura 9 - Modelo 2 – Área de aço em cada ponto da viga biapoiada com vão igual a 4,0 m

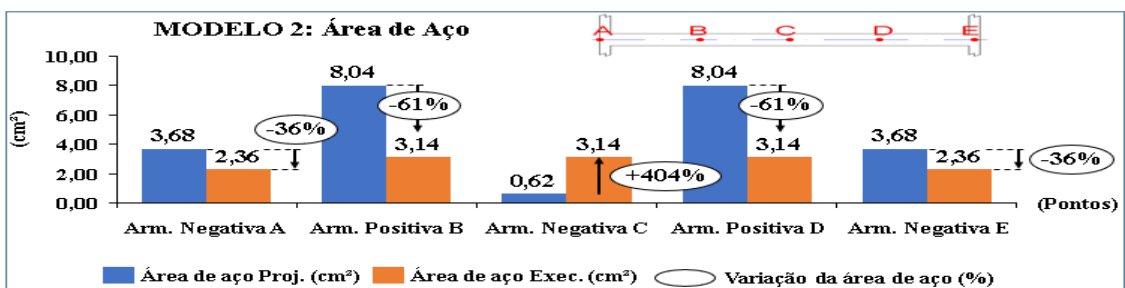


Figura 10 - Modelo 2 – Área de aço em cada ponto da viga biapoiada com vão igual a 8,0 m

Para as edificações do Modelo 3 como a viga V5 é simétrica foram analisados somente os pontos A, B, C, D e E, e foram obtidos os seguintes resultados dispostos na Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14.

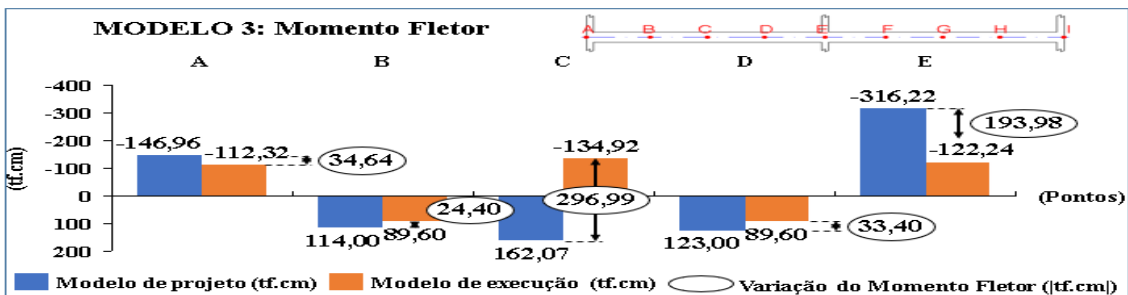


Figura 11 - Modelo 3 – Momento Fletor em cada ponto da viga contínua com vão igual a 4,0 m

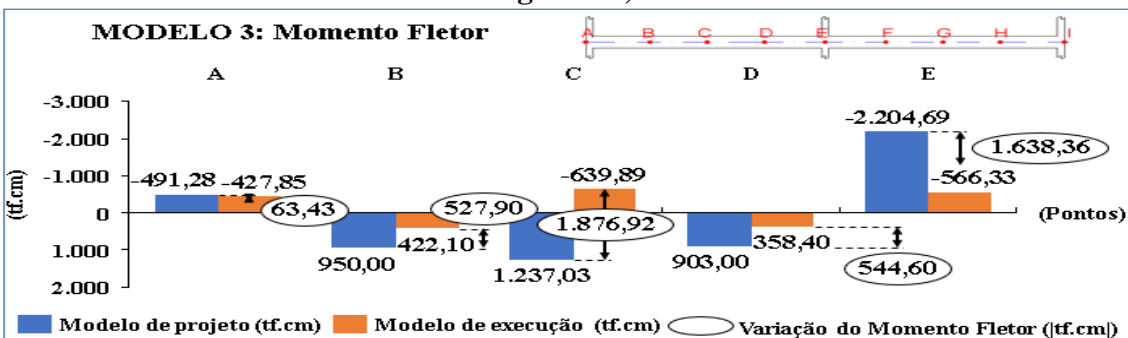


Figura 12 - Modelo 3 – Momento Fletor em cada ponto da viga contínua com vão igual a 8,0 m

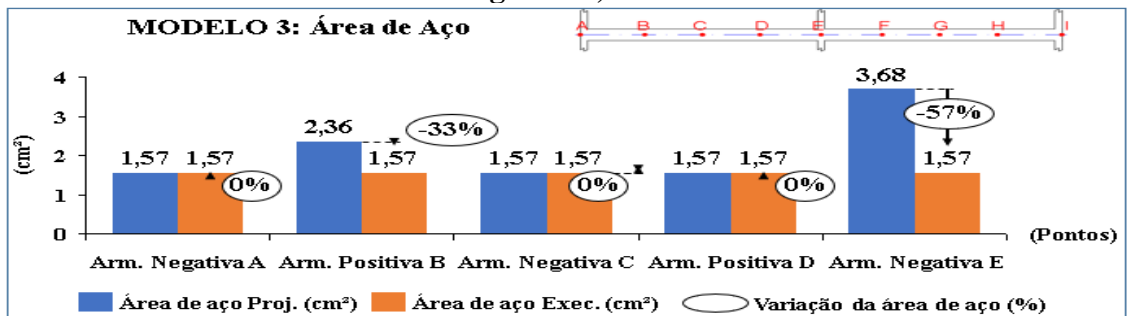


Figura 13 - Modelo 3 – Área de aço em cada ponto da viga contínua com vão igual a 4,0 m

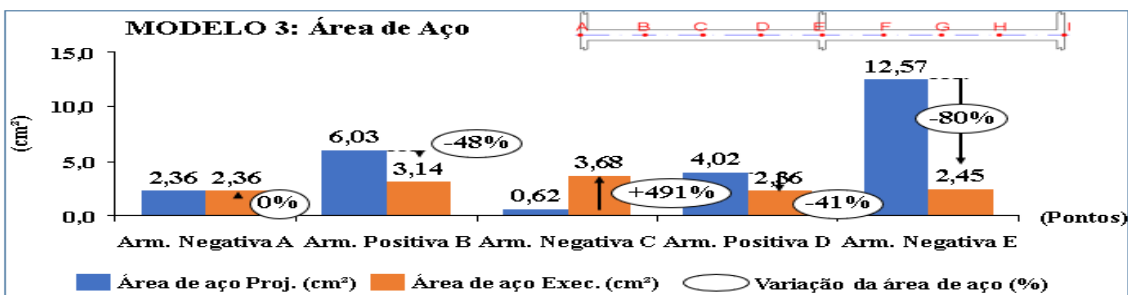


Figura 14 - Modelo 3 – Área de aço em cada ponto da viga contínua com vão igual a 8,0 m

O comportamento estrutural do Modelo 3 proveniente da escora localizada no meio do vão foi similar ao Modelo 2. A presença da reescora posicionada no meio do vão provocou um momento negativo que cresceu à medida que se aumentou o valor do vão. Para os vãos iguais a 4m, 5m, 6m, 7m e 8m, as variações em módulo do valor do momento foram iguais, respectivamente, a 296,99 tf.cm, 564,04 tf.cm, 949,88 tf.cm, 1427,08 tf.cm e 1876,92 tf.cm. Nos demais pontos, houve redução nos valores de momento em relação ao modelo de projeto.

As grandes variações nos momentos do ponto C fizeram que no dimensionamento das armaduras negativas nesse ponto no modelo de execução fossem superior ao dimensionamento inicial, nos casos em que o vão eram de 5 m, 6 m, 7 m e 8 m. O vão de 4 m neste ponto analisado, no dimensionamento inicial apresentava um transpasse na armadura negativa, levando-se em consideração que nos seus esforços iniciais não apresentava momento negativo. A armadura de transpasse neste vão então resistiria os momentos negativos gerados pela presença do reescoramento. Nos outros casos os acréscimos em relação ao modelo de projeto foram iguais a 500%, 500%, 525% e 495%, para os vãos iguais a 4 m, 5 m, 6 m, 7 m e 8 m, respectivamente.

Em relação ao esforço cortante, para o modelo 1, nos pontos C e E, a presença do reescoramento fez surgir um esforço que era inexistente no modelo de projeto. Já nos pontos A e E, a presença do reescoramento provocou uma redução no esforço cortante. Para os modelos 2 e 3, o reescoramento reduziu os valores de cortante em A e D, já no ponto C, surgiu um esforço de cisalhamento não existente no projeto. Apesar da existência de esforços cortantes não previstos, em todos os casos analisados as armaduras transversais foram suficientes para absorver os esforços gerados.

Conclusões

Os resultados obtidos nesta pesquisa, em relação à distribuição de esforços nas vigas, foram conforme o esperado. Ou seja, a presença do reescoramento em balanços gerou um momento positivo que não existia em projeto, e, por outro lado, reduziu o momento negativo no pilar do balanço. Nas vigas bi apoiadas ou contínuas, a presença do reescoramento no vão gerou um momento negativo que não existia em projeto, porém, reduziu o valor dos momentos positivos dos vãos.

Para o modelo 1, enquanto no modelo de projeto existia apenas o momento negativo no balanço, com a presença do reescoramento, surgiram momentos positivos que aumentaram à medida em que se aumentou o valor do balanço. Apesar disso, a armadura positiva existente foi suficiente para absorver o momento gerado em todos os casos. Observou-se que, para existir um momento positivo crítico, que gerasse armaduras superiores as de projeto, o valor do balanço deveria ser bem superior a 2,5 m. Conclui-se que, para os balanços convencionais, não existirá risco a segurança se por acaso o reescoramento for posicionado de maneira imprevista na extremidade do balanço.

No Modelos 2 e 3, a presença do reescoramento no meio do vão provocou momentos negativos importantes, com valores que aumentaram à medida em que se aumentou o valor do vão da viga. Sendo assim, para todos os casos analisados a armadura negativa existente no projeto foi insuficiente para absorver tais esforços, existindo casos em que a armadura necessária com a presença do reescoramento foi 500% maior em relação à armadura do projeto.

Ao comparar os resultados obtidos no Modelo 2 e Modelo 3, observou-se que os momentos negativos provocados pelo reescoramento eram bem parecidos nos dois modelos. Porém, as variações de momento ocorridas neste ponto, para o Modelo 2 (viga bi apoiada) eram superiores as variações do Modelo 3, pois a presença do pilar central do Modelo 3 gera momentos positivos menores.

Os resultados obtidos para os modelos de reescoramentos levaram em consideração que os mesmos seriam utilizados aos 14 dias após a concretagem. Porém, sabe-se que na prática, muitas vezes, eles são utilizados mais precocemente, quando o concreto está com uma resistência inferior, o que provocaria resultados ainda mais críticos do que os obtidos neste trabalho.

A execução imprevista de reescoramentos teve significativas influencias no comportamento estrutural de todas as vigas analisadas. Os resultados mostraram a ineficiência das armaduras construtivas para combater os esforços imprevistos ocasionados pelo reescoramento. Conclui-se que a análise da utilização de reescoramentos durante a execução de estruturas de concreto armado deve ser realizada pelo projetista estrutural.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009.
- CARVALHO, Roberto Chust. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR: 2003/ Roberto Chust Carvalho, Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho. – 3. Ed. – EdUFSCar, 367p. São Paulo, 2010.
- PRADO, José Fernão Miranda de Almeida. Estruturas de Edifícios em Concreto Armado Submetidas a Ações de Construção. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 201p. São Paulo, 1999.
- RODRIGUES, S. J. Ações de construção em lajes de concreto armado. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (1996).
- SIMAVORIAN, David. Análise do efeito do escoramento no comportamento de lajes de betão armado. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Técnico Lisboa, 193p. 2015.
- VIEIRA, G. L. Influência da microfissuração causada por carregamento precoce nas propriedades mecânicas de concreto produzidos com diferentes tipos de cimento. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, 189p. Porto Alegre, 2008.
- VIVACQUA, M. Análise do efeito do escoramento de um pavimento superior sobre os inferiores, para lajes em concreto armado moldado "in loco". Tese (Mestrado em Engenharia Civil) –Universidade Federal do Espírito Santo, 92p. Vitória, 2009.