

## 6

### Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

#### 6.1

##### Conclusões

Esta tese teve por objetivo estudar a redistribuição de momentos em vigas contínuas construídas em aduelas e protendidas cabos sintéticos externos.

Os resultados dos ensaios conduziram às conclusões relacionadas a seguir.

##### Ensaio preliminares

- Antes da abertura da juntas, praticamente não foram observadas diferenças entre as vigas com e sem armadura passiva atravessando a junta. De um modo geral, o comportamento de ambas as vigas foi linear e as deformações no concreto foram praticamente as mesmas e uniformes ao longo do bordo superior e inferior.
- Após a abertura das juntas, foi observada a existência de concentração de deformação no concreto no bordo superior nas juntas entre aduelas das vigas ensaiadas. A concentração de deformação foi mais intensa na viga sem armadura passiva atravessando a junta do que na viga com armadura passiva atravessando a junta.
- Informações obtidas pela separação da contribuição dos cabos de protensão e da armadura passiva para o momento resistente interno da viga com armadura passiva atravessando a junta entre aduelas (VGAI2), mostraram que o momento resistente devido à contribuição dos cabos de protensão é praticamente igual ao momento resistente da viga com armadura passiva interrompida na junta (VGAI2).
- A variação de forças nos cabos de protensão na ruptura das vigas é maior na viga com armadura passiva atravessando a junta.

## **Ensaio principais**

### **a) Vigas monolítica e em aduelas, com mesma relação $l/d_p = 18,75$**

- Antes da descompressão, praticamente não foram observadas diferenças significativas entre a viga monolítica e a viga em aduelas. Assim como nos ensaios preliminares o comportamento foi linear e as deformações no concreto foram praticamente às mesmas e uniformes ao longo do bordo superior (ponto de aplicação de carga) e inferior (apoio central).
- Após a descompressão, foi observado que as deformações na viga monolítica tenderam a se concentrar nas seções críticas próximo aos pontos de aplicação de carga (a  $l/3$  do apoio externo) e ao apoio central. Já na viga em aduelas a concentração de deformação se deu fora das juntas na região do apoio central, onde se observou a presença de fissuras de cisalhamento e nas regiões próximo aos pontos de aplicações de cargas (a  $l/3$  do apoio externo) a concentração de deformação foi observada nas juntas entre aduelas.
- A variação de tensão na armadura de protensão na viga monolítica foi de 35% e na viga em aduelas foi de 27%, aproximadamente. Este resultado está coerente com os resultados obtidos nos ensaios preliminares.
- O coeficiente de atrito médio entre os cabos de protensão e os desviadores foi de 0.22.

### **b) Influência da relação $l/d_p$ sobre o comportamento das vigas em aduelas**

- De um modo geral, o comportamento das vigas com diferentes relações  $l/d_p$  (relação entre o vão e a distância da fibra mais comprimida ao centro de gravidade da armadura de protensão) foi semelhante ao descrito no item anterior, antes da descompressão.
- Após a abertura das juntas, as maiores deformações foram nas juntas próximas aos pontos de aplicações de cargas (a  $l/3$  do apoio externo), em particular nas

proximidades das juntas 2 e 5 (entre os pontos de aplicações de cargas). Nestas regiões as fissuras de cisalhamento foram pequenas devido ao baixo esforço cortante, o que permitiu o deslocamento da junta ao longo da altura da viga. Na região do apoio central, onde o esforço cortante foi máximo, a presença das fissuras de cisalhamento com inclinação de  $45^\circ$  aproximadamente em direção ao apoio central, fizeram com que as deformações fossem maiores nas seções fora das juntas.

- Devido ao atrito nos desviadores e à aplicação da protensão em apenas uma extremidade da viga, a força nos cabos foi maior na ancoragem ativa. A variação de tensão na ancoragem morta decresceu com o aumento da relação  $l/d_p$ , como era de se esperar. A grande inclinação dos cabos de protensão nos desviadores da viga com relação  $l/d_p$  igual a 12,5, provavelmente impediu o deslizamento dos mesmos no estágio final de carregamento, fazendo com que a tendência de diminuição da variação de tensão não fosse observada como na ancoragem morta. A maior variação de tensão observada foi de 28,6% na ancoragem morta da viga com relação  $l/d_p$  igual a 12,5. A menor variação de tensão observada foi de 17,1% na ancoragem ativa da viga com relação  $l/d_p$  igual a 25.

## **Redistribuição de momentos**

### **a) Experimental**

- A redistribuição de momentos foi observada nas vigas monolítica e em aduelas, sendo maior nesta última. Como consequência da redistribuição de momentos foi observada uma diminuição do momento negativo no apoio central de 10% e 18% nas vigas monolítica e em aduelas, respectivamente. Já nos pontos de aplicações de cargas (a  $l/3$  do apoio externo) o momento positivo foi aumentado de 4,4% e 7,4% na viga monolítica e na viga em aduelas, respectivamente.
- Nas regiões onde a presença da força cortante é pequena, a contribuição da parcela dos cabos de protensão no momento resistente da viga monolítica ( $l/d_p$

igual a 18,75) pode ser calculada levando em consideração apenas os esforços de flexão. A parcela do momento resistente devido ao cabo de protensão é aproximadamente igual ao momento resistente da viga em aduela ( $l/d_p$  igual a 18,75) numa mesma seção destas regiões.

- Nas regiões onde a intensidade da força cortante é elevada, que é o caso da região do apoio central, a contribuição da parcela dos cabos de protensão no momento resistente da viga monolítica ( $l/d_p$  igual a 18,75) não pode ser calculada levando em consideração apenas os esforços de flexão. Nestas regiões devem ser levadas em consideração o efeito conjunto dos esforços de flexão e cisalhamento. Desta forma, a parcela do momento resistente devido ao cabo de protensão é aproximadamente igual ao momento resistente da viga em aduela ( $l/d_p$  igual a 18,75). Portanto, é possível obter o grau de redistribuição de momentos de uma viga em aduelas a partir de uma viga monolítica com características semelhantes.
- A redistribuição de momentos foi observada em todas as vigas em aduelas com diferentes relações  $l/d_p$ . Entretanto, o grau de redistribuição de momentos sofreu pequenas variações com o decréscimo da relação  $l/d_p$ . Devido a redistribuição de momentos, o momento negativo no apoio diminuiu 18% e o momento máximo no vão aumentou em 7%, aproximadamente, com relação aos momentos obtidos da análise elástica.
- O momento positivo máximo no vão foi superior ao momento negativo no apoio central das vigas em aduelas, o que contraria os resultados fornecidos pela análise elástica, onde o momento negativo foi superior.

#### **b) Comparação entre os resultados experimentais e teóricos**

- A comparação entre os resultados experimentais e os resultados teóricos obtidos através de equações desenvolvidas para o caso de cabos de aço, mostram, de um modo geral, bons resultados para o caso de cabos *Parafil*.
- Os métodos adotados pelas normas NBR6118 (2000-Projeto), Eurocode 2 (1992) e CAN-A23.3-M94 forneceram resultados cuja discrepância não

superou os 3% nas vigas em aduelas e 9% na viga monolítica. Os resultados foram satisfatórios apesar de levarem poucas variáveis em consideração, como o tipo de aço, resistência do concreto e a posição relativa da linha neutra relação ( $x/d$ ). A equação fornecida pela norma CAN-A23.3-M94 é função apenas da relação ( $x/d$ ).

- A norma do ACI 318 (1989) leva em consideração um número maior de variáveis. O resultado fornecido foi excelente para a viga monolítica, que apesar de ter uma taxa de armadura passiva ligeiramente inferior ao valor admitido pela norma (responsável para garantir a ductilidade). Como as vigas em aduelas possuem taxa de armadura zero nas juntas, os valores obtidos superestimaram em torno de 10% os resultados experimentais.
- Os valores obtidos por Kodur e Campbell (1999) subestimaram em torno de 10% os resultados experimentais, mesmo sendo levado em conta na equação proposta vários parâmetros.

## 6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Em trabalhos futuros é sugerido a continuação dessa linha de pesquisa no campo experimental e no campo teórico. Primeiramente, se faz necessário uma análise paramétrica numérica com um modelo computacional para estudar quais as principais variáveis, que de fato, influenciam na redistribuição de momentos. Algumas das seguintes variáveis podem ser analisadas, como:

- O módulo de elasticidade do cabo de protensão;
- A taxa total de armadura protendida e não protendida;
- A força inicial de protensão;
- O traçado do cabo;
- A resistência à compressão do concreto;
- Estudar a variação da excentricidade e atrito entre cabo e desviadores no caso de cabos externos;
- A variação da relação comprimento/ altura da aduela.

Após a identificação das principais variáveis que influenciam a redistribuição de momentos, faz-se necessário o estudo experimental para comprovação da análise paramétrica numérica, realizada com modelo computacional. Por fim, é necessário desenvolver métodos práticos de análise e projeto de vigas protendidas com cabos não aderentes, estabelecendo fatores de segurança necessários para o projeto de vigas protendidas com cabos externos sintéticos.