

DESLOCAMENTOS EM LONGARINAS DE PONTES DE CONCRETO ARMADO: EFEITOS DA TAXA GEOMÉTRICA DE ARMADURA, DA CORROSÃO E DA VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO

DISPLACEMENTS IN BRIDGE REINFORCED CONCRETE BEAMS: REINFORCEMENT TAXES, CORROSION AND YOUNG'S MODULE CONCRETE VARIATION EFFECTS

Paulo de Tarso Cronemberger Mendes (1); Maria de Lourdes Teixeira Moreira (2); Paulo de Mattos Pimenta (3)

(1) Professor Doutor, Depto. de Estruturas - Universidade Federal do Piauí / NOVAFAPÍ, Brasil, paulo.tcm@uol.com.br

(2) Professor Doutor, Depto. de Estruturas - Universidade Federal do Piauí, Brasil, mtmoreira@uol.com.br

(3) Professor Doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, ppimenta@usp.br

RESUMO

Trabalho desenvolvido por MENDES apresentou informações sobre as pontes das rodovias federais brasileiras, entre as quais suas características geométricas, o ano de construção, o sistema estrutural, os materiais constituintes, o trem-tipo de projeto, as condições de estabilidade e de conservação. Neste trabalho são apresentados os resultados dos deslocamentos máximos obtidos em modelos elaborados em elementos finitos sólidos de uma ponte com vão e seção transversal representativos das pontes existentes, supondo diferentes taxas de armadura longitudinal, três valores para o módulo de elasticidade do concreto – E_c , $0,75 E_c$ e $0,5 E_c$ – diferentes configurações de corrosão da armadura e diferentes condições de fissuração.

Palavras-chaves: Pontes de concreto; Corrosão da armadura; Deslocamentos.

ABSTRACT

Research developed by MENDES presented information about the bridges of the Brazilian federal road network like age, geometric characteristics, constitutive materials, structural system, load patterns, stability and durability conditions. In this paper are presented results of displacements obtained in solid finite element models of a span and cross section representative existing bridges, with different longitudinal reinforcement taxes, with three Young's module concrete – E_c , $0,75 E_c$ and $0,5 E_c$ – with different percentage of reinforcement corrosion and different cracking conditions.

Keywords: concrete bridge; reinforcement corrosion; displacements.

1. INTRODUÇÃO

Em pesquisa realizada em 2009, MENDES caracterizou as pontes existentes na rede de rodovias federais brasileiras a partir de informações coletadas junto ao DNIT e às empresas concessionárias de rodovias federais. Foram obtidas informações relativas à idade, dimensões, número de vãos, sistema estrutural, trem-tipo de projeto e as condições de estabilidade e de durabilidade. Para a maioria dessas pontes, por ter idade superior a trinta anos ou idade desconhecida, há pouca ou nenhuma informação sobre as características mecânicas de seus materiais constituintes. Essas pontes continuam em atividade e sofrem os efeitos das alterações ocorridas ao longo do tempo na capacidade de carga e geometria dos veículos da frota circulante e apresentam sinais perceptíveis de deterioração, tanto do concreto quanto da armadura.

Neste trabalho foi analisada uma ponte com vão e seção transversal representativos das pontes existentes nas rodovias federais brasileiras, para a qual foram verificadas as condições de deformabilidade supondo diferentes taxas de armadura longitudinal, três valores para o módulo de elasticidade do concreto – E_c , $0,75 E_c$ e $0,5 E_c$ – diferentes configurações de corrosão da armadura e diferentes condições de fissuração. A análise foi efetuada considerando um modelo em elementos finitos sólidos utilizando o SAP2000.

2. CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS

A ponte representativa adotada para análise é em viga simplesmente apoiada de concreto armado, com vão de 20,0 m e dimensões da seção transversal conforme figura 1.

Para efeito de análise admitiu-se concreto com $f_{ck} = 18,0$ MPa e armadura constituída de aço CA25 ou CA50.

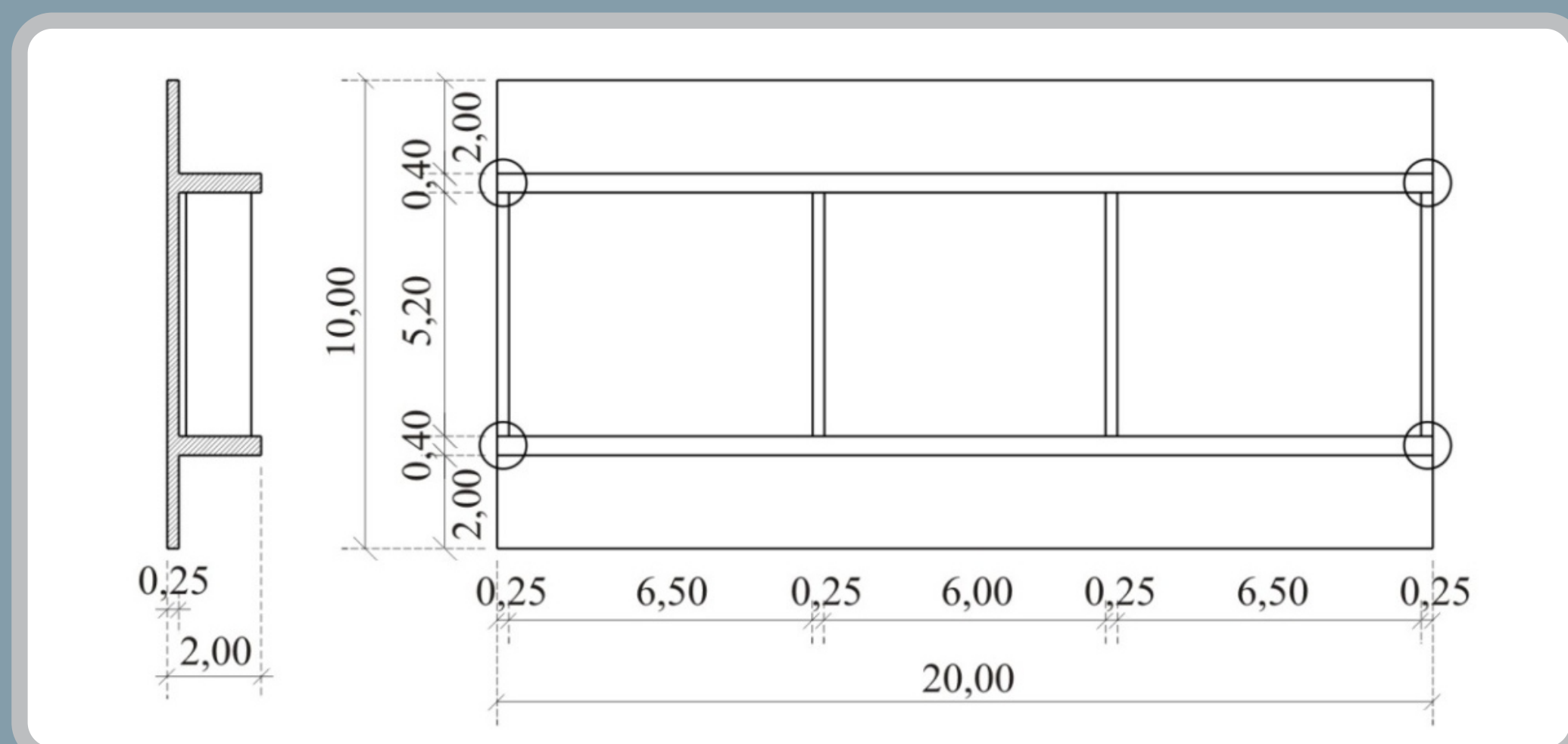


Figura 1 – Ponte representativa (MENDES (2009))

2.1 Modelo computacional

Para avaliação do comportamento da ponte foi adotado um modelo computacional que consistiu na discretização das vigas e lajes com elementos finitos sólidos (SOL) conforme figura 2. A armadura longitudinal também foi discretizada com elementos finitos sólidos com perfeita aderência ao concreto.

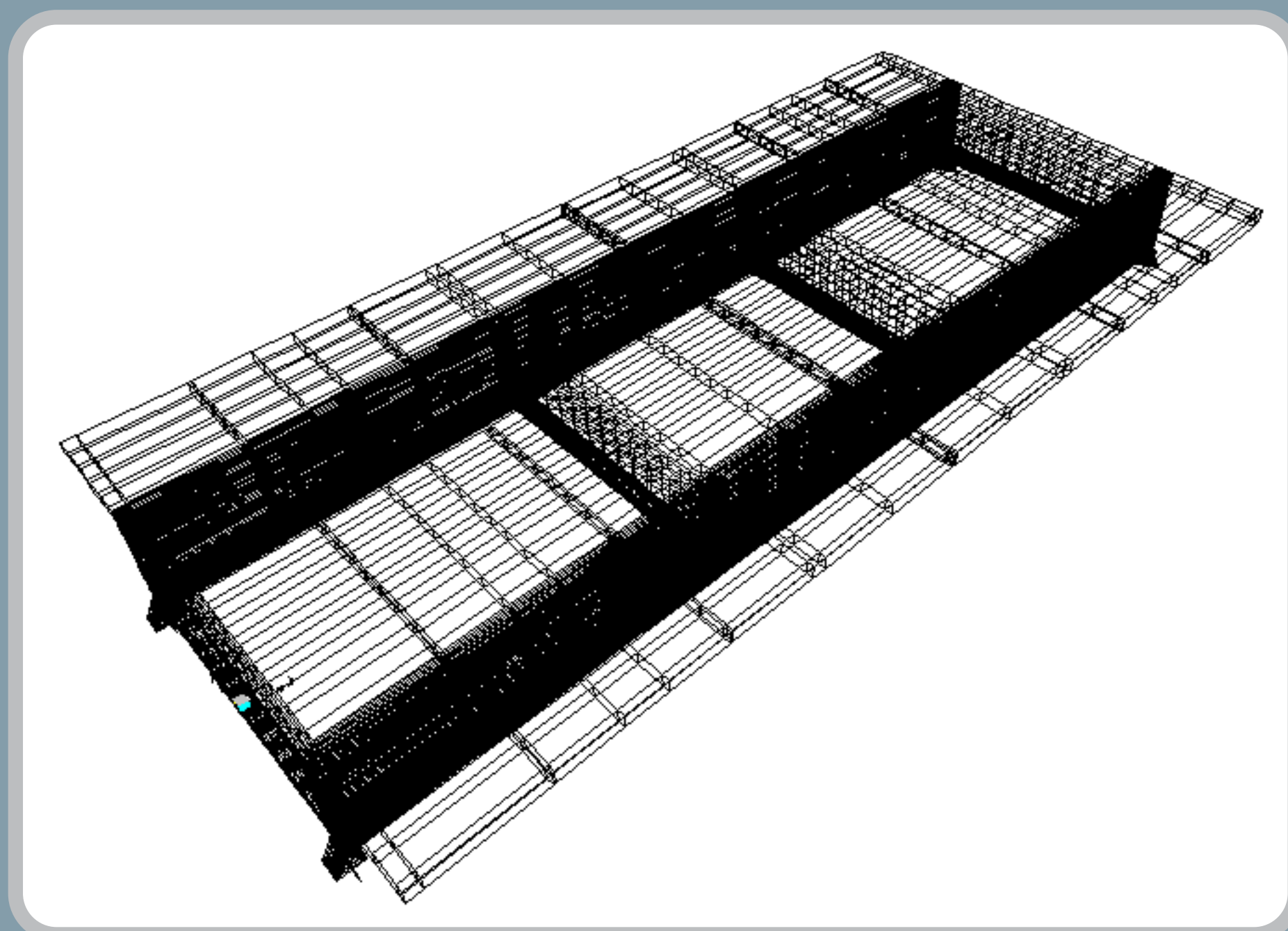


Figura 2 – Modelo com elementos finitos sólidos (MENDES (2009))

2.2 Módulos de elasticidade do concreto e do aço

Para a análise dos modelos adotou-se um módulo de elasticidade do concreto $E_c = 23,8$ GPa correspondente ao valor sugerido na NBR 6118 (2007).

Devido à precariedade das informações relativas às características mecânicas dos concretos executados nessas pontes, optou-se por analisá-las considerando também um módulo de elasticidade do concreto correspondente a 50% e 75% do valor de E_c , com o objetivo de avaliar a influência deste fator na deformabilidade do conjunto.

O módulo de elasticidade do aço foi considerado $E_s = 210,0$ GPa.

2.3 Variação da taxa geométrica de armadura

A taxa geométrica da armadura longitudinal das vigas foi considerada com os valores $\rho_1 = 3,78\%$, $\rho_2 = 3,22\%$ e $\rho_3 = 2,68\%$, correspondentes a possibilidades de detalhamento com o aço CA25 e com o aço CA50, conforme figura 3.

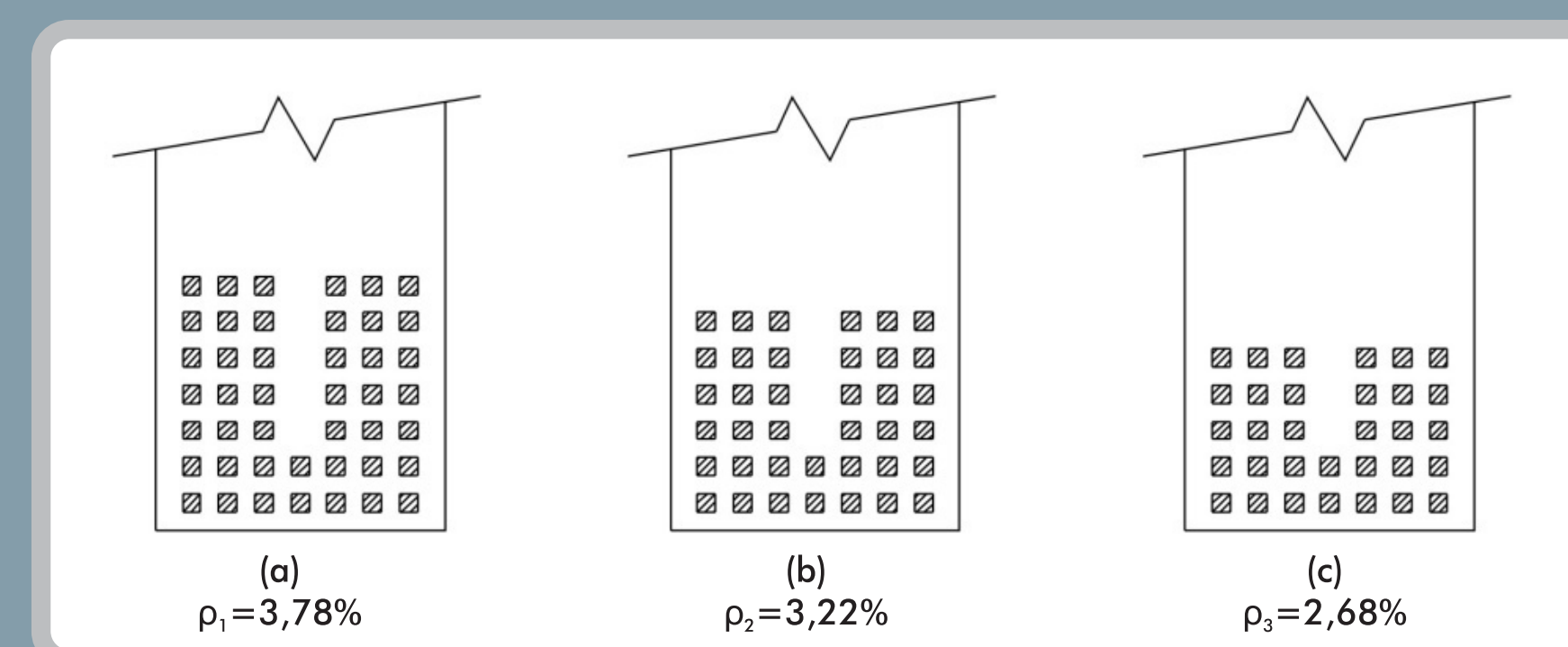


Figura 3 – Distribuição das barras na seção transversal das longarinas (MENDES (2009))

2.4 Configurações de corrosão

Tendo em vista que a configuração de corrosão da armadura longitudinal mais freqüente corresponde à corrosão das barras da camada inferior, optou-se por admitir a redução de seção das barras dessa camada em 40% e 100%, conforme as figuras 4 e 5.

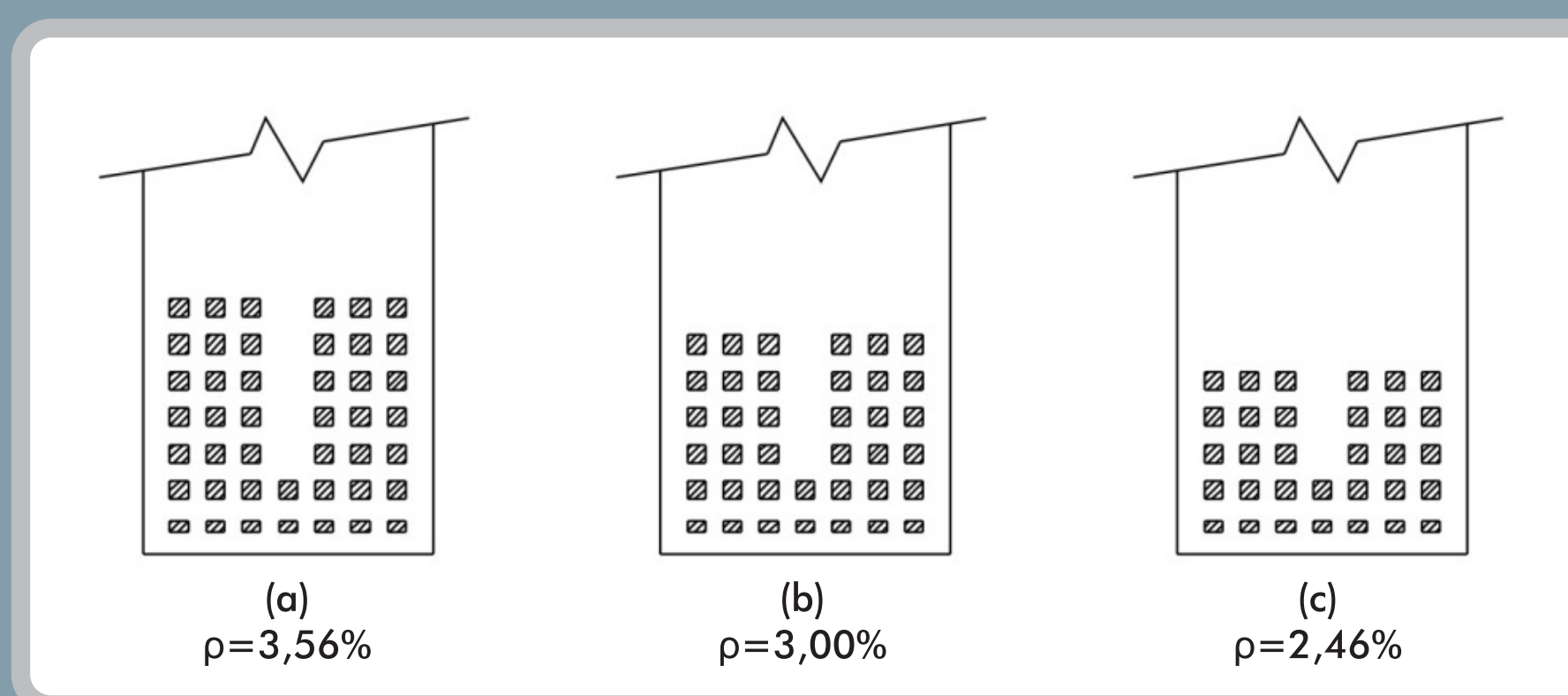


Figura 4 – Distribuição das barras na seção transversal das longarinas, com a primeira camada com 40% de corrosão (MENDES (2009))

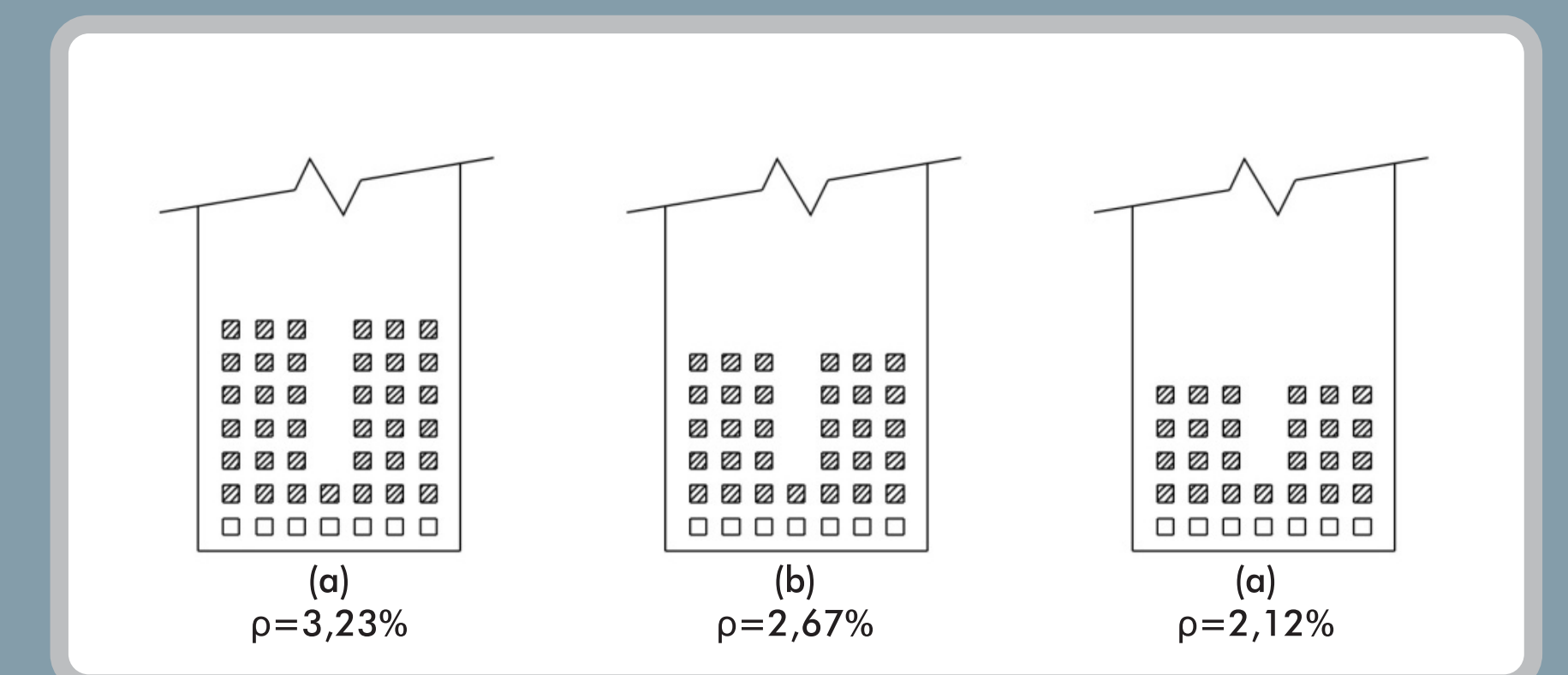


Figura 5 – Distribuição das barras na seção transversal das longarinas, com a primeira camada com 100% de corrosão (MENDES (2009))

2.5 Carregamento

Para análise foi considerado o carregamento permanente relativo ao peso próprio, pavimentação e defensas.

2.6 Condições de fissuração

Para analisar o efeito da fissuração foram consideradas duas situações: com apenas uma fissura no meio do vão e com cinco fissuras distribuídas ao longo do vão. As fissuras foram caracterizadas pela eliminação dos elementos finitos sólidos representativos do concreto com altura total de 1,50 m, correspondente a 75% da altura total da longarina, deixando-se na região tracionada apenas os elementos finitos sólidos representativos da armadura, conforme figuras 6 e 7.

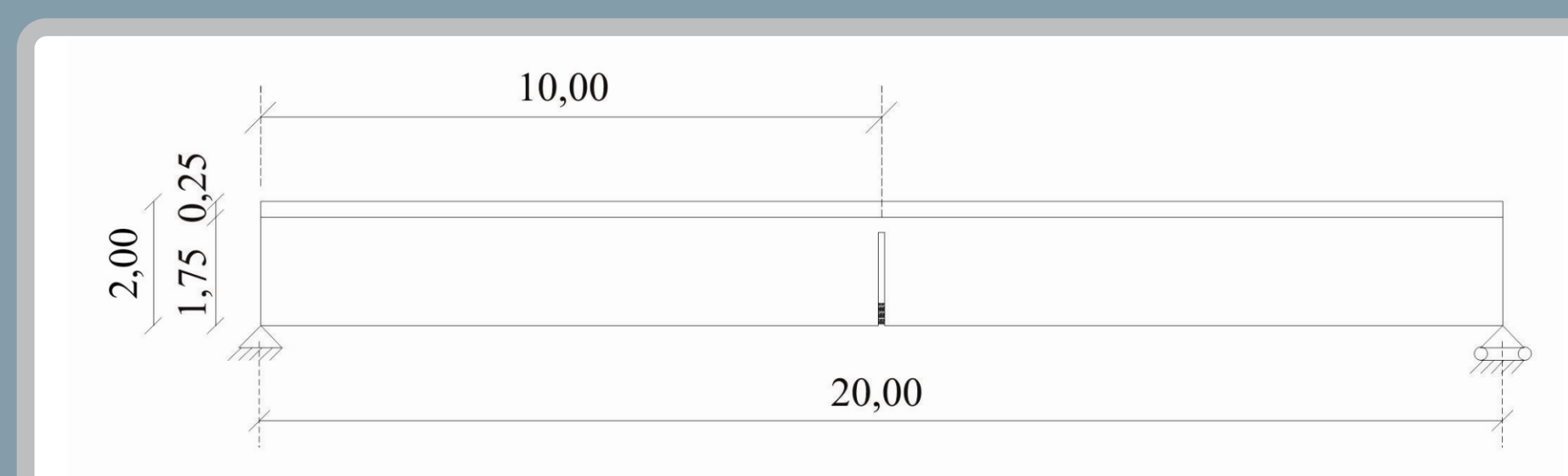


Figura 6 – Longarina com uma fissura de 1,50m no meio do vão (F150)

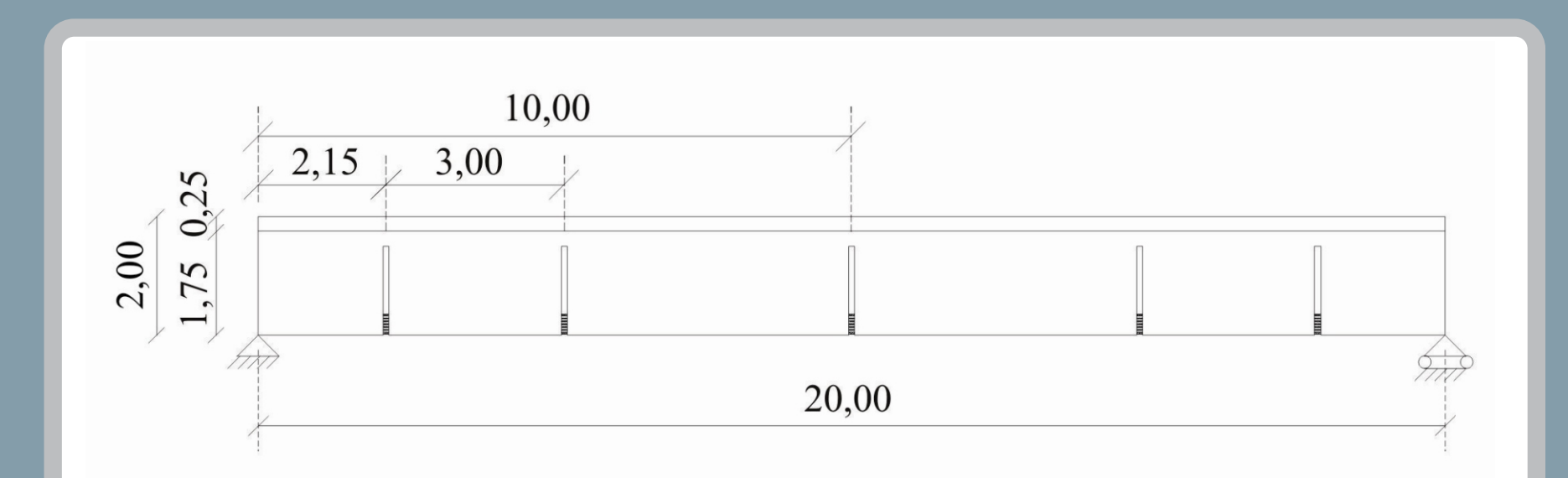


Figura 7 – Longarina com cinco fissuras de 1,50m (5F150)

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos nas diversas simulações apresentadas podem ser visualizados na figura 8.

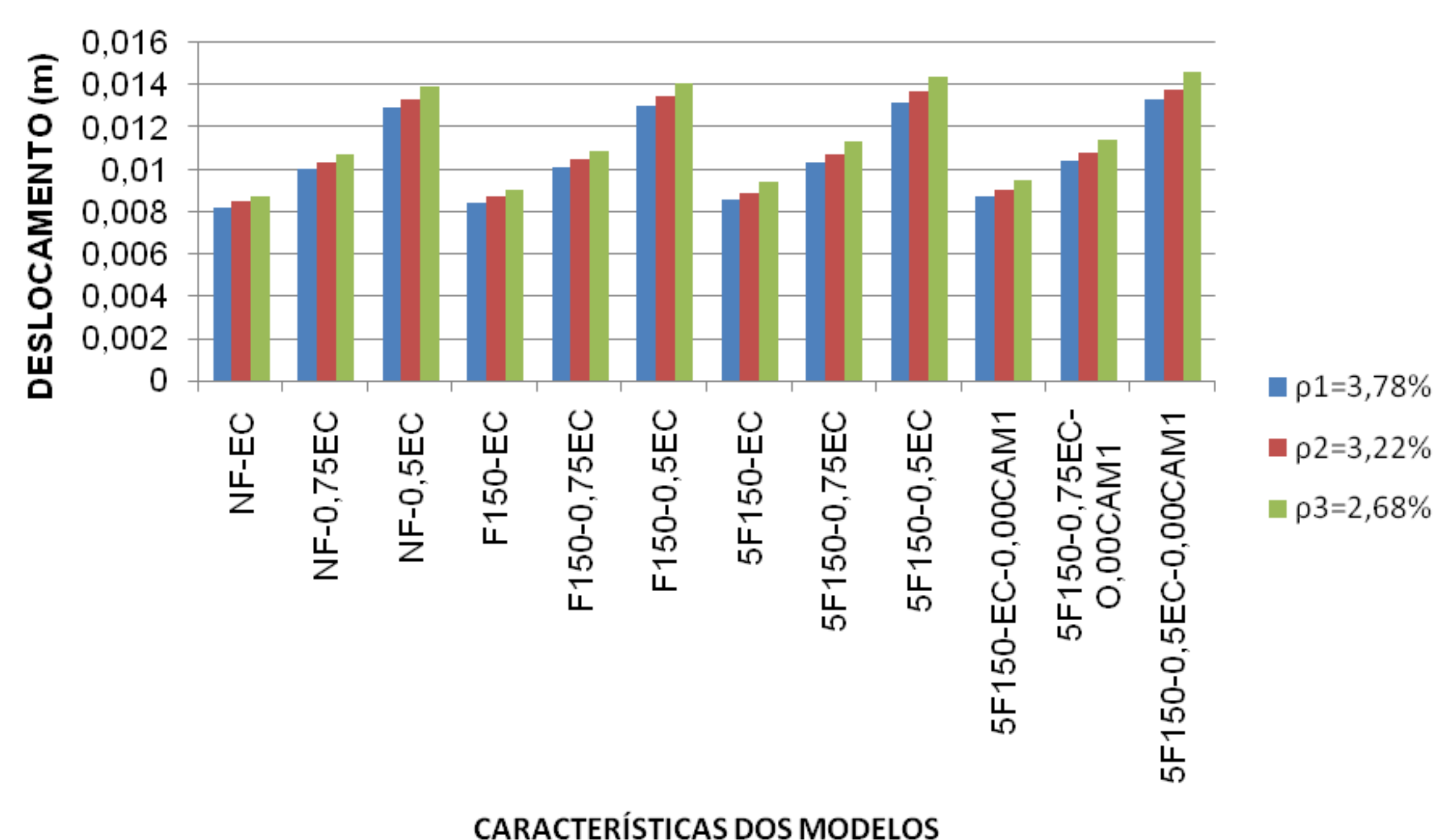


Figura 8 – Valores dos deslocamentos verticais máximos para carregamento permanente, módulos de elasticidade do concreto E_c , 0,75. E_c e 0,5. E_c , taxas geométricas de armadura $\rho_1=3,78\%$, $\rho_2=3,22\%$ e $\rho_3=2,68\%$, com longarina não fissurada, com uma fissura e com cinco fissuras.

Como esperado, o menor deslocamento ocorreu para a longarina não-fissurada, módulo de elasticidade E_c e taxa de armadura $\rho_1=3,78\%$ e o maior valor para a longarina com cinco fissuras, módulo de elasticidade 0,5. E_c e taxa de armadura $\rho_3=2,68\%$.

Observou-se que a influência da variação da taxa de armadura em cada modelo é pouco significativa. Na condição não-fissurada, módulo de elasticidade E_c e taxa de armadura $\rho_1=3,78\%$ o deslocamento obtido foi 0,0082 m enquanto para a taxa $\rho_3=2,68\%$, 29% menor, o deslocamento correspondente foi de 0,0087 m corresponde a um aumento percentual de apenas 6%. Na condição da longarina com cinco fissuras, módulo de elasticidade E_c e taxa de armadura $\rho_1=3,78\%$ o deslocamento obtido foi 0,0086 m enquanto para a taxa $\rho_3=2,68\%$, 29% menor, o deslocamento correspondente foi de 0,0094 m corresponde a um aumento percentual de 9%.

A ocorrência da fissuração também não repercutiu de forma significativa no valor do deslocamento. Para taxa de armadura $\rho_1=3,78\%$ na condição não-fissurada, módulo de elasticidade E_c o deslocamento obtido foi 0,0082 m, com uma fissura o deslocamento foi de 0,0084 m (acréscimo de 2,4%) e com cinco fissuras foi de 0,0086 m (acréscimo de 4,9%).

O processo de corrosão da armadura da longarina em geral atinge apenas a primeira camada de barras. Para taxa de armadura $\rho_1=3,78\%$ na condição da longarina com cinco fissuras, módulo de elasticidade E_c o deslocamento obtido foi 0,0086 m. Supondo que a primeira camada da armadura da longarina venha a ser totalmente corroída, o deslocamento sofre um acréscimo de 1,2%, passando a 0,0087 m.

A influência mais significativa sobre o valor do deslocamento foi da variação do módulo de elasticidade do concreto. Para taxa de armadura $\rho_1=3,78\%$ na condição não-fissurada, módulo de elasticidade E_c o deslocamento obtido foi 0,0082 m. Uma redução de 50% no módulo de elasticidade do concreto produz um deslocamento de 0,0129 m, correspondente a um aumento de 57%. Para taxa de armadura $\rho_3=2,68\%$ na condição não-fissurada, módulo de elasticidade E_c o deslocamento obtido foi 0,0087 m. Uma redução de 50% no módulo de elasticidade do concreto produz um deslocamento de 0,0139 m, correspondente a um aumento de 60%.

Para a taxa de armadura $\rho_1=3,78\%$, a variação do módulo de elasticidade do concreto de E_c para 0,5. E_c , a ocorrência de cinco fissuras e a corrosão total da primeira camada de armadura fazem o deslocamento aumentar de 0,0082 m para 0,0133 m (variação de 62%). Para a taxa de armadura $\rho_3=2,68\%$, a variação do módulo de elasticidade do concreto de E_c para 0,5. E_c , a ocorrência de cinco fissuras e a corrosão total da primeira camada de armadura fazem o deslocamento aumentar de 0,0087 m para 0,0146 m (variação de 68%).

O deslocamento máximo obtido na pior situação foi de 0,0146 m para um vão total de 20,0 m, correspondente a $l/1370$.

A variação do módulo de elasticidade do concreto de E_c para 0,5. E_c , tanto pode ser interpretada como decorrente de uma deficiência do concreto utilizado por ocasião da moldagem das longarinas como de uma variação do comportamento do concreto sob efeito da fluência. No primeiro caso, o acréscimo da consideração da fluência pode ampliar significativamente o valor do deslocamento e ainda assim não ultrapassar o valor limite usualmente adotado.

4. REFERÊNCIAS

MENDES, P. T. C.. **Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MENDES, P. T. C.. **A influência da fissuração no comportamento das vigas de concreto armado**. 1983. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, março 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 1**: Norma para Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado. Rio de Janeiro: ABNT, 1940.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 2**: Cálculo e Execução de Pontes de Concreto Armado. Rio de Janeiro: ABNT, 1940.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 6**: Carga Móvel em Pontes Rodoviárias. Rio de Janeiro: ABNT, 1940.

NORMAS RODOVIÁRIAS. **NPER6**: Normas para Projeto de Estradas de Rodagem. 1949.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 6**: Carga Móvel em Pontes Rodoviárias. Rio de Janeiro: ABNT, 1960.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB6**: Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Resolução nº 12/98**. Estabelece os Limites de Peso e Dimensões para Veículos que Transitem por Vias Terrestres. Fevereiro, 1998.

CENTRO DE EXCELÊNCIA EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES – CENTRAN. **Plano Diretor Nacional Estratégico de Pesagem – PDNEP**. Volume II. Pesquisa de Tráfego. Junho/2006.



53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

IBRACON 2011