

ESTUDOS PRELIMINARES PARA REAVALIAÇÃO DOS VALORES DE CONTROLE DA INSTRUMENTAÇÃO DO BLOCO DE CONCRETO GRAVIDADE BGII DA UHE TUCURUÍ

Luís Augusto Conte Mendes VELOSO

Professor – Dep. de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará.

Rodrigo Soares PEIXOTO

Graduando em Engenharia Civil – Universidade Federal do Pará.

Remo Magalhães DE SOUZA

Professor – Dep. de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará.

Sandro DIORD Rescinho Amador

Mestrando em Engenharia Civil – Universidade Federal do Pará.

RESUMO

Neste trabalho realizaram-se estudos para identificar a porção do maciço de fundação do bloco de concreto gravidade BGII da UHE Tucuruí que deve ser considerada em modelos numéricos de elementos finitos de forma a se obter resultados satisfatórios na análise de tensões e deslocamentos. Esses modelos serão utilizados em futuras pesquisas para a reavaliação de valores limites e de alerta da instrumentação do bloco BGII. Para a realização do estudo parametrizou-se a geometria do maciço de fundação de modo que vários modelos fossem automaticamente criados, alterando somente os valores desses parâmetros. Dessa maneira, uma geometria apropriada para o maciço pôde ser identificada, tomando-se como variáveis de referência as tensões verticais no bloco, bem como o deslocamento da crista na direção perpendicular ao eixo da barragem.

ABSTRACT

This paper presents a study about the identification of which part of the foundation of the gravity block II (BGII) of Tucuruí Hydroelectric Power should be considered in finite element models, such that satisfactory results, regarding its stress analysis and displacements, could be obtained. These models will be used in a future research work, for reevaluation of limit and warning values of the instrumentation of the BGII Block. In the present study, the geometry of the foundation domain was parameterized such that several models could be automatically generated, by just changing the values of the considered parameters. In this way, an appropriate geometry of the foundation domain could be identified, taking the vertical stresses and the transverse displacement in the top of the dam as reference variables.

1. INTRODUÇÃO

Passados mais de vinte anos de operação da UHE Tucuruí, estudos estão sendo realizados para contribuir para a melhoria dos procedimentos de verificação da segurança das barragens da usina.

Esses estudos são financiados por um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) intitulado “Sistema de Segurança de UHE Tucuruí: Automação da Instrumentação das Estruturas Civas da Usina” aprovado para execução no ciclo 2005-2006 do programa de P&D da Eletronorte, segundo regulamentação da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

Como plataforma de teste do sistema de monitoração proposto, foi escolhido o bloco de concreto gravidade BGII, por se tratar de um dos blocos mais instrumentados da usina. No projeto também está previsto um estudo para reavaliação dos valores limites e de alerta do bloco BGII que foram propostos ainda na fase de projeto e construção da usina.

Assim, esse trabalho faz parte dos primeiros estudos para reavaliação dos valores limites e de alerta do BGII, buscando identificar a porção do maciço da fundação que deve ser considerado em um modelo numérico de elementos finitos de modo a se obter resultados satisfatórios.

Para a realização do estudo parametrizou-se a geometria do maciço de fundação de forma que vários modelos fossem automaticamente criados, alterando somente os valores desses parâmetros. Dessa maneira, a geometria do maciço pôde ser identificada, tomando-se como referência as tensões verticais no bloco, bem como o deslocamento da crista na direção do fluxo.

2. ANÁLISE NUMÉRICA

2.1 Breve Histórico

Trabalhos foram realizados na Universidade de Brasília [1] utilizando o Método dos Elementos Finitos e o Método de Gravidade para determinação de tensões em barragens de concreto gravidade. No estudo verificou-se que o prolongamento do perfil da barragem em cerca de 30% da altura do bloco para representar o maciço de fundação conduz a resultados satisfatórios, conforme pode ser observado na figura 1.

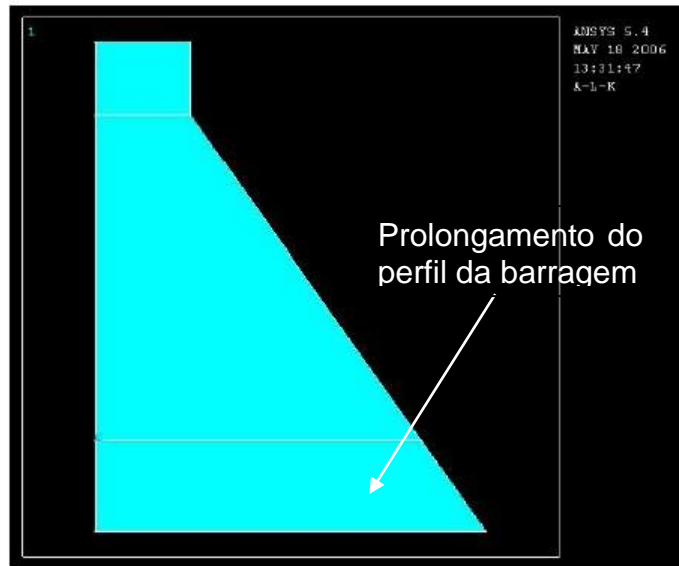


FIGURA 1: Prolongamento do perfil da barragem para representar o maciço de fundação, apresentado em [1]

Modelos de Elementos finitos foram utilizados em estudos realizados pela IEME BRASIL LTDA [2] para a reavaliação de valores limites e de alerta para a instrumentação da UHE ITAIPU. Nesse estudo, a profundidade do maciço de fundação considerado no modelo foi da ordem da altura do bloco, figura 2.

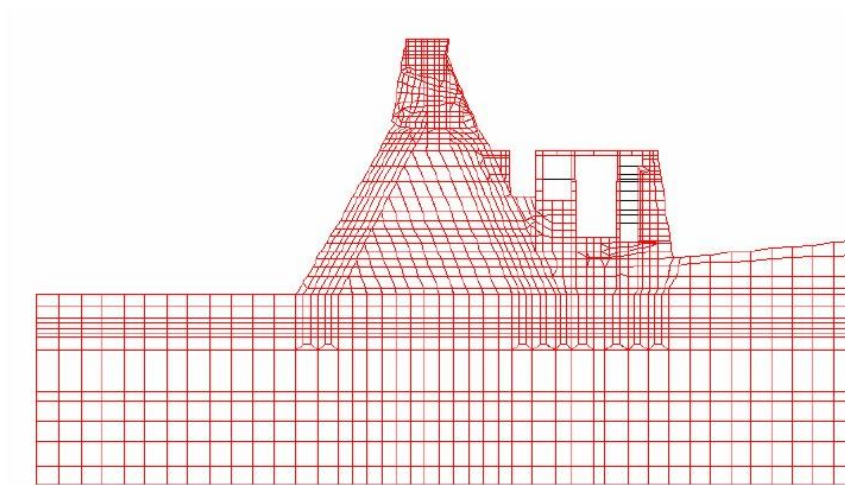


FIGURA 2: Malha de Elementos Finitos de um bloco da UHE ITAIPU, apresentado em [2]

2.2 Metodologia Empregada

As análises realizadas no presente trabalho foram realizadas no programa de elementos finitos ANSYS®, onde a geometria do bloco foi gerada em plataforma CAD e exportada para o ANSYS® por meio de um programa elaborado no NiCAE/UFPA, Núcleo de Instrumentação e Computação Aplicada à Engenharia da Universidade Federal do Pará.

O bloco BGII possui espessura praticamente constante, figura 3, e, por isso, modelos planos podem representar o comportamento do bloco com boa precisão. Assim, as análises foram realizadas empregando-se modelos planos, obtidos a partir de uma seção média do bloco, porém desconsiderando as galerias, ver figura 4.

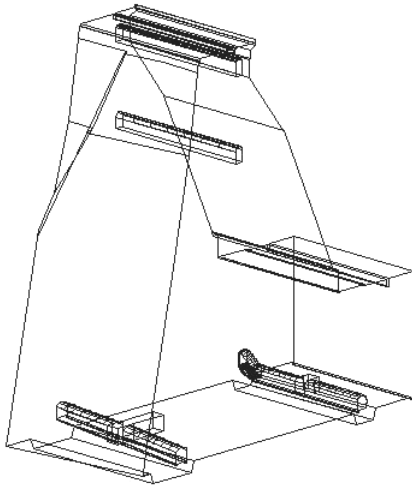


FIGURA 3: Geometria do bloco BGII incluindo as galerias internas de acesso e drenagem

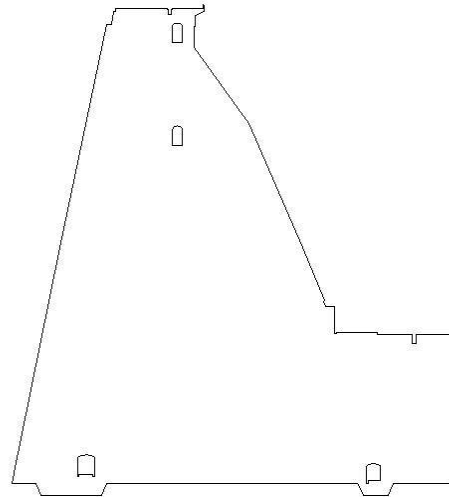


FIGURA 4: Seção média do bloco BGII utilizado nos modelos de elementos finitos

A geometria do maciço de fundação foi parametrizada de maneira que vários modelos pudessem ser automaticamente criados alterando-se, apenas, os valores desses parâmetros, figuras 5 e 6. Os parâmetros L_f e P_f significam, respectivamente: largura da fundação e profundidade de fundação.

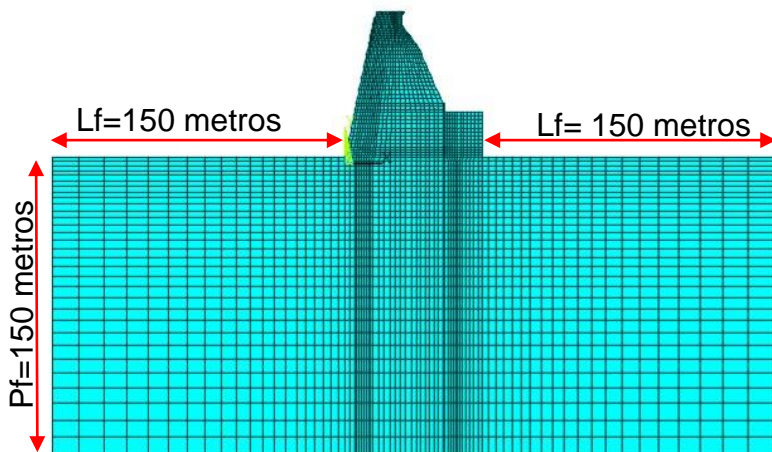


Figura 5: Parâmetros para a geometria da fundação. Modelo criado com L_f e P_f iguais a 150 metros

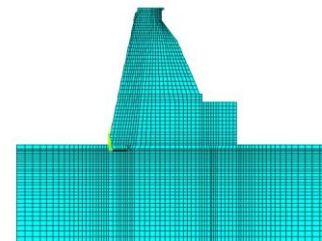


Figura 6: Modelo criado com L_f e P_f iguais a 50 metros

As propriedades dos materiais empregadas na análise estão apresentadas na tabela 1. O tipo de rocha de fundação foi obtido a partir da bibliografia existente sobre a construção da UHE Tucuruí apresentada em [3] e o valor do módulo de elasticidade para esse tipo de rocha foi encontrado em [4]. Considerou-se o valor do módulo de elasticidade do concreto de 20 GPa.

Propriedades dos materiais	
Material	Módulo de deformação (GPa)
Concreto	20
Rocha	75,60

TABELA 1: Propriedades dos materiais consideradas na análise

O elemento empregado, tanto para a discretização do bloco, como para o maciço de fundação, foi o PLANE 42 que é um elemento plano de quatro nós e dois graus de liberdade por nó (translações nas direções horizontal e vertical). O carregamento considerado foi o peso próprio e a pressão hidrostática atuando a montante na fundação e no bloco, com nível d'água de 71 metros, figura 7.

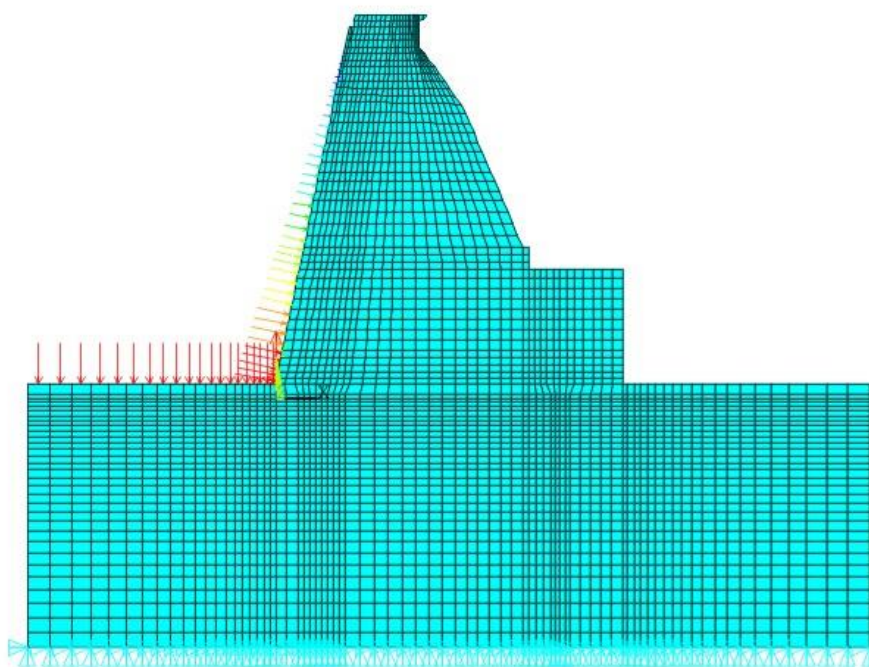


FIGURA 7: Carregamento e condições de contorno utilizadas

As análises foram realizadas para vários valores dos parâmetros L_f e P_f , observando-se os resultados de deslocamento da crista da barragem na direção do fluxo e as tensões na seção junto a sua base. Consideraram-se duas famílias de modelos distintas, cujas características geométricas estão apresentadas na tabela 2 e também o modelo do bloco sem o maciço de fundação.

Família	L_f (m)	P_f (m)
I	0 a 300	50
II		100

TABELA 2: Características geométricas das famílias de modelos utilizados na análise

3. RESULTADOS

3.1. Deslocamento da crista do bloco na direção do fluxo

Na figura 8 estão apresentados os deslocamentos na direção do fluxo no modelo sem a fundação. Observa-se que o deslocamento do nó 1042 localizado na crista da barragem é 1,402 milímetros e o deslocamento máximo da crista é de 1,406 milímetros.

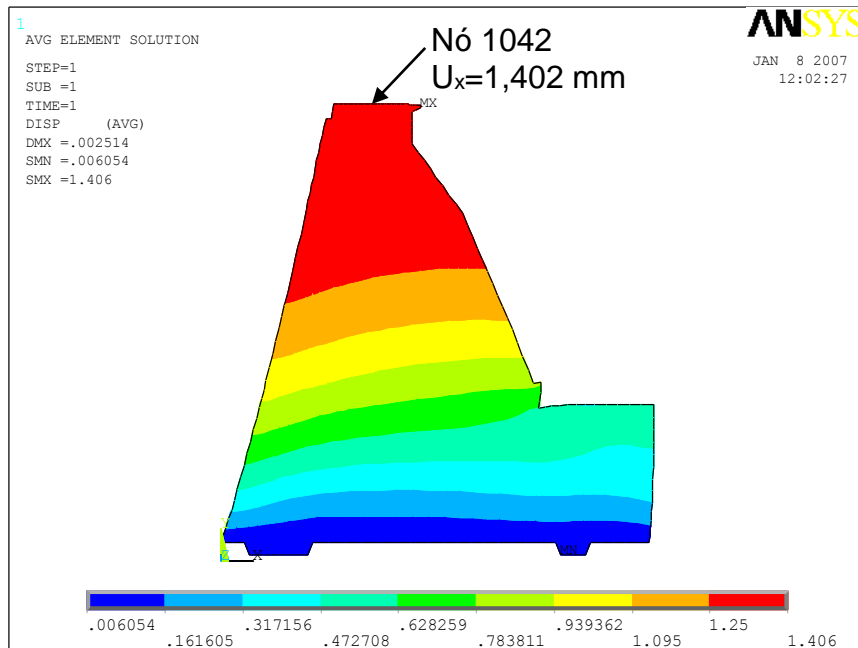


FIGURA 8: Deslocamentos na direção do fluxo, valores em milímetros

A consideração do maciço de fundação aumenta os deslocamentos da crista da barragem, como pode ser verificado no modelo da família I, com L_f igual a 150 metros, figura 9. Neste caso, o deslocamento do nó 1042 é de 1,663 milímetros, cerca de 18,5% maior que o deslocamento do modelo sem fundação.

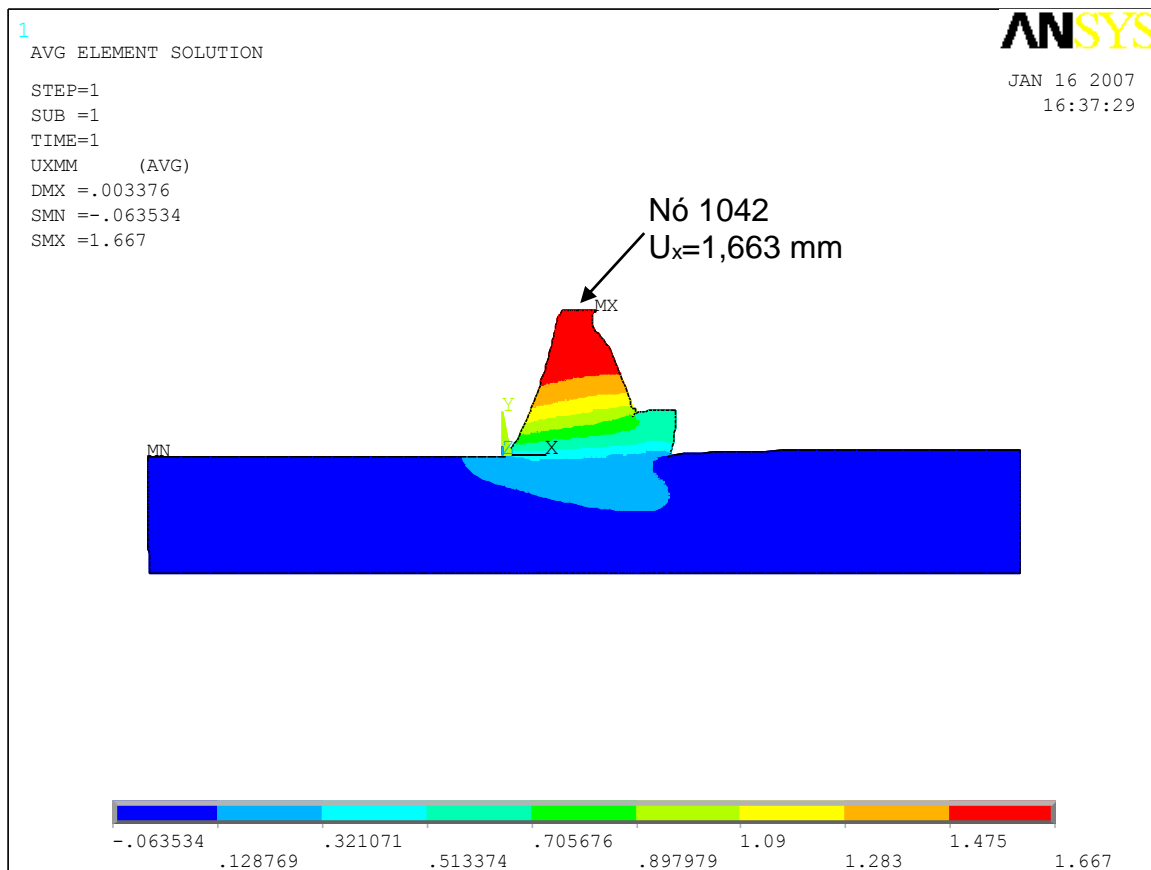


FIGURA 9: Deslocamentos na direção do fluxo, valores em milímetros. Modelo da família I, com L_f igual a 150 metros

Na figura 10 estão apresentados os deslocamentos do nó 1042 determinados por meio dos modelos sem considerar a flexibilidade da fundação e também com os modelos das famílias I, II.

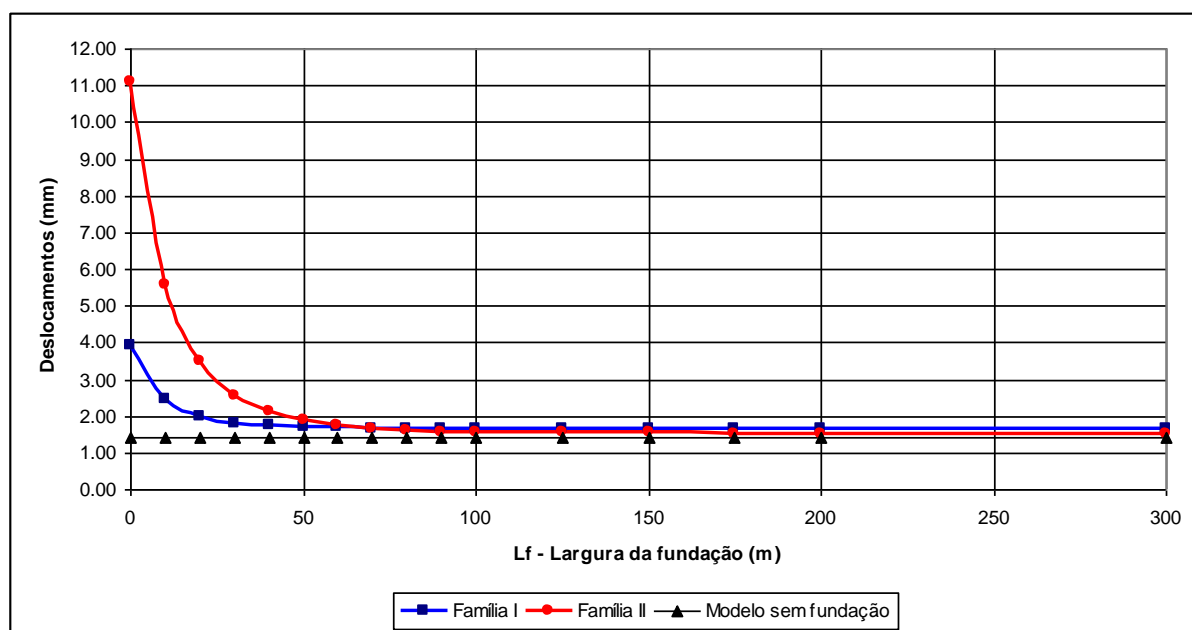


FIGURA 10: Deslocamentos na direção do fluxo do nó 1042 em função da largura do maciço de fundação para os modelos das famílias I e II

Verifica-se, pelos resultados da figura 10, que nas duas famílias de modelos estudadas, os deslocamentos da crista do bloco tendem a convergir para larguras de fundação maiores que 50 metros.

3.2. Tensões normais verticais

Uma vez constatado que para valores de largura de fundação superiores a 50 metros são suficientes para fornecerem resultados satisfatórios para o deslocamento da crista da barragem, tomou-se como referência para o estudo das tensões normais verticais 150 metros como largura do maciço de fundação.

Assim, na figura 11, estão mostradas as tensões normais verticais em uma seção junto à base do bloco, considerando modelos da família I e II, com larguras do maciço de fundação de 150 metros. Esses valores estão comparados com o resultado obtido a partir do modelo sem o maciço de fundação.

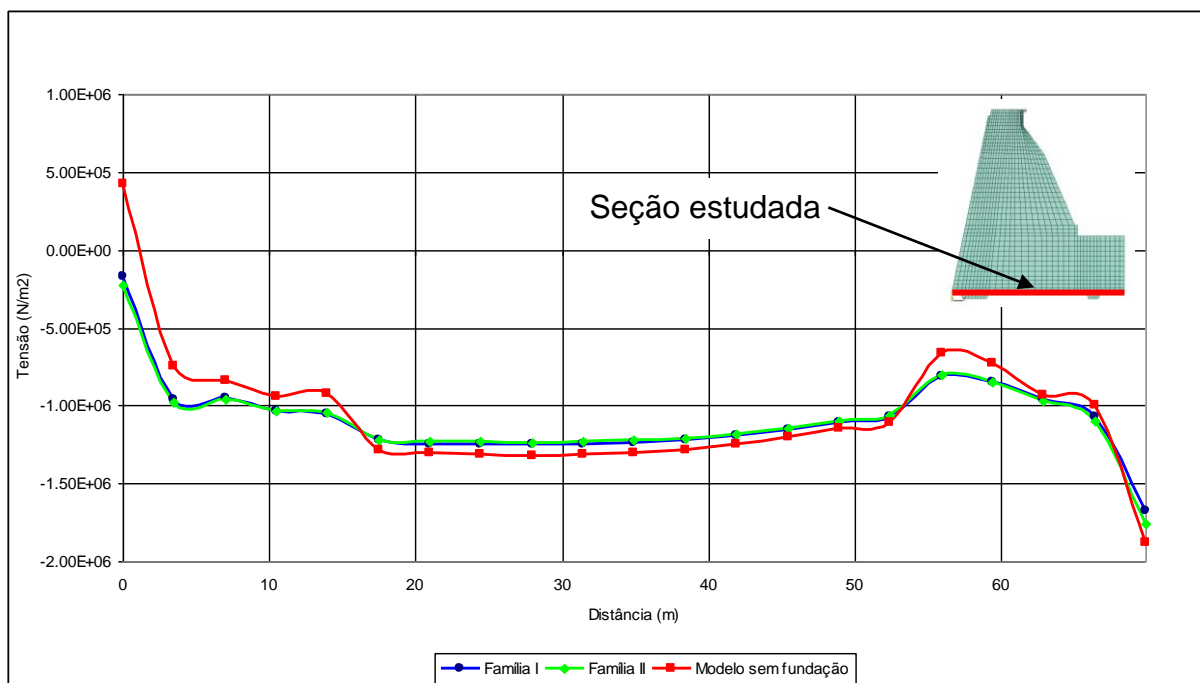


FIGURA 11: Tensões normais verticais em uma seção junto à base do bloco, valores em N/m^2

Da figura 11, verifica-se que os valores de tensão obtidos com os modelos que consideram a fundação praticamente coincidiram. Entretanto, os resultados obtidos a partir do modelo que não consideram a fundação e os que apresentam o maciço de fundação divergem significativamente, principalmente na região junto à base do bloco a montante. Nessa região, o valor da tensão obtido com o modelo sem consideração da fundação foi da ordem de 0,5 MPa (tração), enquanto que os valores obtidos a partir dos modelos que consideram a fundação foram da ordem de -0,2 MPa (compressão).

4. CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas pôde-se verificar que a consideração do maciço de fundação é imprescindível para a obtenção de resultados satisfatórios.

Para o caso do bloco estudado, 50 metros de largura de fundação são suficientes para se obterem resultados precisos de deslocamento e, valores superiores a 50 metros de profundidade do maciço de fundação não alteram as tensões na base do bloco.

5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a ELETRONORTE pelo apoio financeiro a pesquisa na modalidade de P&D ANEEL, aprovada no ciclo 2005-2006. Os autores agradecem também à participação do gerente do projeto, José Walton de Brito Bichara, e ao Eng. Gilson Machado da Luz, pela colaboração na realização deste trabalho.

6. PALAVRAS-CHAVE

Barragens de concreto, Análise de tensões, Método dos Elementos Finitos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARIMA, Thiago Soares; CALDAS, Silvio; PEDROSO, Lineu José; DA SILVA, Rita de Cássia. (2006) – “MODELAGEM ESTÁTICA PARA ANÁLISE DE TENSÕES EM BARRAGENS DE CONCRETO GRAVIDADE UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.” Proceedings of the XXVII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, Belém.
- [2] JULIANI, Marco; BECOCCI, Liana; RODRIGUES, José Fernando; FIORINI, Ademar; PIASENTIN, Corrado. (2000) – “ITAIPU DAM MONITORING REEVALUATION OF INSTRUMENTATION CONTROL VALUES”. Commission Internationale des Grands Barrages, Beijing.
- [3] DA CRUZ, Paulo Teixeira. (1996) – “100 BARRAGENS BRASILEIRAS – Caso histórico; Materiais de construção; Projetos” 648p. Editora Oficina de Textos. São Paulo.
- [4] CAPUTO, Homero Pinto. (1998) – “MECÂNICA DOS SÓLIDOS E SUAS APLICAÇÕES - Mecânica das rochas, Fundações, Obras de terra” Vol. 2, 6ª Edição. 498p. Editora Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro.