



Danilo Toledo Ramos

**Aplicação de Eletrônives para Obtenção das Deflexões e
dos Momentos Fletores na Face de Concreto de Barragens
de Enrocamento**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Pedricto Rocha Filho

Rio de Janeiro
Outubro de 2009



Danilo Toledo Ramos

**Aplicação de Eletrônives para Obtenção das Deflexões e
dos Momentos Fletores na Face de Concreto de Barragens
de Enrocamento**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada
pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Pedricto Rocha Filho

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico da PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de outubro de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Danilo Toledo Ramos

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília, em 2007. Ingressou no mesmo ano no curso de Mestrado em Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, na área de Geotecnia, desenvolvendo dissertação de mestrado na área de instrumentação geotécnica.

Ficha Catalográfica

Ramos, Danilo Toledo

Aplicação de Eletrônives para Obtenção das Deflexões e dos Momentos Fletores da Face de Concreto de Barragens de Enrocamento / Danilo Toledo Ramos ; orientador: Pedricto Rocha Filho. – 2009.

148 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia. 1. Engenharia Civil – Teses. 2. Instrumentação. 3. Eletrônives. 4. Barragens. 5. Enrocamento. 6. Deflexões. I. Rocha Filho, Pedricto. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Aos meus pais e à minha irmã.
À minha querida Flavia.
Aos meus amigos que tenho como irmãos.

Agradecimentos

A Deus, pela vida.

Ao meu orientador, Professor Pedricto Rocha Filho, pelo exemplo de profissional e pela orientação segura. Agradeço pela amizade, por ter me dado oportunidades inesquecíveis para a minha vida e por me ensinar o que é engenharia, com sua visão clara, inteligente e objetiva.

Aos meus pais, Paulo Roberto de Souza Ramos e Maria do Carmo Toledo Ramos, que são pessoas das quais tenho muito orgulho. Eu me sinto abençoado por ter pais tão maravilhosos. Agradeço pelo apoio e amor que sempre me dedicaram durante toda a minha vida, e sem os quais nunca teria alcançado este objetivo.

À minha irmã, Paula Toledo Ramos, pessoa com a qual me identifico tanto que nem precisaria das palavras para conversar. Agradeço pelo apoio e companheirismo de sempre, pelas conversas e pelo carinho.

À minha família, avós, tios e primos, por sempre torcerem pelo meu sucesso e pelo carinho que sempre tiveram por mim.

À minha querida Flavia Villarroel, por seu companheirismo e dedicação. Tenho muita sorte de ter encontrado a sua luz no meu caminho. Agradeço pelo carinho e amor que sempre demonstrou por mim, os quais sempre irei retribuir, e pela ajuda em todos os momentos de dificuldade, provando ser uma pessoa de grande valor para a minha vida.

Ao Professor Luiz Antônio Pereira de Gusmão, pela amizade, competência e sugestões. A sua contribuição foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao José Eduardo Zuñiga e Cristina de Blasis, aos quais tenho grande admiração e gratidão pelo apoio e amizade.

Aos meus amigos da pós-graduação, pela excelente convivência durante todo esse período.

Aos meus amigos-irmãos e companheiros David Bogossian e Davi Guedes, que

estiveram comigo nessa jornada e são parte essencial dessa conquista.

Aos meus amigos-irmãos Leandro Naya, Henrique Almeida e Petrus Barros, por sempre torcerem por mim e estarem presentes, mesmo estando a mais de mil quilômetros.

Às minhas amigas Nancy Amikura, Daniele Roewer, Débora Ferreira, aos amigos Rafael Amâncio, Rodrigo Ribeiro, entre outros que influenciaram minha formação e por também serem pessoas que sempre poderei contar.

Agradeço à família Cavalcanti: Vânia, Estevão, Marcelo e Bernardo, pelo apoio na adaptação e pelo espírito acolhedor que possuem. À Zenilda, que é uma pessoa maravilhosa e foi muito importante para essa conquista. Agradeço em particular ao Marcelo pela ajuda com a “revitalização” das figuras. Agradeço pela ajuda, pela boa convivência e experiência que pude ter com essa família incrível. As condições que me foram proporcionadas nesse ano e meio de convivência me ajudaram muito a obter êxito no mestrado.

Agradeço à Regina Castro, por ser uma pessoa também acolhedora, amável, com a qual tenho uma convivência muito agradável e com isso sempre pude sentir tranquilidade para desenvolver o meu trabalho.

Agradeço aos funcionários do Laboratório de Geotecnia Amauri e Deivid, pela constante disposição em ajudar e pela amizade. Aos funcionários Walter e Juarez do Laboratório de Engenharia Mecânica, ao Alex e ao Bruno.

Aos funcionários do DEC Rafael, Lenílson, Fátima e principalmente à Rita, que é uma pessoa especial e me ajudou bastante a começar e agora concluir o mestrado.

À Professora Michéle, que além de ser uma profissional muito competente, é uma pessoa muito querida por todos e sempre disposta a contribuir com sua alegria e seus conhecimentos.

À Professora Rosa Maria Sposto, por ter me ensinado os primeiros passos e me incentivado nesse passo acadêmico. Sou grato por seus ensinamentos e amizade.

Agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Civil, que são responsáveis pela minha formação e pelo meu interesse geotécnico e particularmente aos professores Giuseppe Guimarães, Raul Rosas e Celso Romanel pela disposição em contribuir ao trabalho.

Às professoras do Departamento de Matemática Ana Cristina e Juliana Vianna, pela disposição em ajudar, pela grande contribuição e longas conversas sobre cálculo numérico.

Ao professor Marcelo Dreux do Departamento de Informática pelos ensinamentos, pela contribuição e pela boa vontade em ajudar no desenvolvimento do programa usado nesta dissertação.

Agradeço também aos amigos do CAND, João Gabriel, Paulo Mirilli, Roberta e Carol pela companhia e ajuda na etapa final da dissertação.

À CAPES à Vice-reitoria de Desenvolvimento Acadêmico da PUC-Rio pelo suporte financeiro.

Resumo

Ramos, Danilo Toledo; Rocha Filho, Pedricto. **Aplicação de Eletrôníeis para Obtenção das Deflexões e dos Momentos Fletores na Face de Concreto de Barragens de Enrocamento.** Rio de Janeiro, 2009. 148p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho descreve a montagem, calibração e instalação de 80 (oitenta) eletrôníeis na face de concreto da Barragem de Mazar, que consiste em uma Barragem de Enrocamento com Face de Concreto de 166 m de altura localizada na parte sudeste do Equador, no rio Paute. A barragem possui taludes a montante de 1,4(H):1,0(V) e a jusante de 1,5(H):1,0(V), com volume de enrocamento de 5.000.000 m³. Os eletrôníeis foram instalados ao longo de quatro seções na face de concreto em diferentes etapas do processo construtivo da barragem, permitindo a observação do comportamento deste elemento de vedação desde o início da construção. Para a interpretação foram desenvolvidas rotinas que possibilitaram, além da automatização, a criação de uma interface gráfica para acompanhamento. Os resultados indicaram com precisão os deslocamentos da face e acusaram regiões críticas com relação à atuação de momentos fletores, ratificando a importância do monitoramento da face de concreto desde o início da sua execução.

Palavras – chave

Instrumentação; Eletrôníeis; Barragens; Enrocamento; Deflexões

Abstract

Ramos, Danilo Ramos; Rocha Filho, Pedricto (advisor). **Use of Electro-Levels to Obtain Deflection and Bending Moment in Concrete Faced Rockfill Dams.** Rio de Janeiro, 2009. 148p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis describes the procedures involved in the montage, calibration and installation of 80 (eighty) electro-levels on the concrete face of Mazar's dam, located in the Paute river, southeast of Ecuador. This dam consists of a Concrete Face Rockfill Dam 166m high and it has upstream slopes of 1.4(h):1.0(v) and downstream slopes of 1.5(h):1.0(v). The rockfill volume is 5000000 m³. Electro-levels were installed throughout 4 sections on the concrete face in different phases of the dam construction, allowing the behavior observation of its concrete face since the beginning of the construction. For the interpretation of the results, some routines were developed to allow not only the automation of the process but also the development of graphic interface for following the process. The results indicated with precision the face displacements and showed critical regions related to the bending moment, which confirms the importance of monitoring the concrete face during all the construction stages.

Keywords

Instrumentation, Electroleveis, Dams, Rockfill, Deflections

Sumário

Lista de Figuras	12
Lista de Tabelas	17
Lista de Símbolos	18
Lista de Abreviaturas	20
1 Introdução	21
1.1. Objetivos	22
1.2. Organização do Trabalho	22
2 Revisão Bibliográfica	23
2.1. Breve Histórico de barragens de enrocamento com vedação a montante (BEVMs)	23
2.2. Medida das deflexões do elemento de vedação a montante	26
2.3. Deflexões da face de concreto de BEFCs indicadas por eletrônives	29
2.3.1. Barragem de Xingó	30
2.3.2. Barragem de Tianshengqiao	31
3 Eletrônives	37
3.1. Introdução	37
3.2. Descrição	38
3.2.1. Princípio de Funcionamento	38
3.2.2. Montagem	40
3.2.3. Calibração	40
3.3. Interpretação dos dados	42
3.3.1. Análise Incremental	42
3.3.2. Análise Sequencial	44
3.3.3. Ajuste polinomial pelo método dos mínimos quadrados com restrições devido às condições de contorno de BEFCs	52
4 Aplicação dos Eletrônives na Barragem de Mazar	55
4.1. Barragem de Mazar	55
4.1.1. Construção da barragem	55
4.1.2. Características da face de concreto	57
4.1.3. Instalação dos eletrônives	59
4.2. Montagem dos Eletrônives	63
4.3. Sistemas de aquisição de dados	65
4.3.1. Unidade de Leitura (<i>Mini Data-Logger</i>)	
4.3.2. Sistema de Monitoramento dos Eletrônives (SME)	
4.4. Calibração dos Eletrônives	69
4.4.1. Calibração com a utilização do Mini Data-Logger	71

4.4.2. Calibração com a utilização do Sistema de Monitoramento de Eletrôníveis (SME)	74
4.4.1. Compatibilização entre Fatores de Calibração obtidos com o data-logger e com o SME	75
4.5. Procedimento de Instalação e Proteção dos Eletrôníveis	76
5 Análise dos Resultados	79
5.1. Desempenho dos eletrôníveis	79
5.2. Ajuste das Curvas	83
5.2.1. Resultados dos ajustes polinomiais dos pontos de rotação por aproximação (Método dos mínimos quadrados)	84
5.2.2. Comparação entre a deformada obtida por Análise Sequencial (regressão polinomial) e Incremental	87
5.3. Análise das deflexões da face de concreto da Barragem de Mazar	90
5.4. Análise dos momentos fletores atuantes na face de concreto da Barragem de Mazar	112
5.5. Sistematização dos cálculos	122
6 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	125
6.1. Conclusões	125
6.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	126
Bibliografia	127
Apêndice A – Resultados da Calibração	130
Apêndice B – Rotinas de Cálculo (VBA)	133
Apêndice C – Resultados das deflexões e momentos fletores sem a compatibilização das leituras.	135
Apêndice D – Exemplo de Relatório Gerado pelo Programa de Monitoramento em VBA	139
Apêndice E – Rotinas para automatização dos cálculos	140

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Barragem Inglesa (1856) (http://sunsite.berkeley.edu).....	23
Figura 2.2 – Visão artística da barragem de Shuibuya (233 m) (Cruz, Materón & Freitas, 2009).....	25
Figura 2.3 – Vista longitudinal (a) e em corte (b) do trole para movimento do tubo de inclinômetro na Barragem de Marchlyn. (Penman & Rocha Filho, 2000).	28
Figura 2.4 – Deflexões da membrana com o reservatório cheio da Barragem de Marchlyn. (a) Deflexões na seção principal; (b) Detalhe próximo ao pé do talude a montante. (Penman & Rocha Filho, 2000).....	29
Figura 2.5 – Tubo para instalação do inclinômetro em El Cajón. (Cruz, Materón & Freitas, 2009).....	29
Figura 2.6– Tubo-guia do inclinômetro instalado na crista na barragem de El Cajón. (Cruz, Materón & Freitas, 2009).....	29
Figura 2.7 – Deflexões observadas na Barragem de Xingó (Penman & Rocha Filho, 2000).	30
Figura 2.8 – Deflexão do primeiro estágio da laje na maior seção da Barragem de Tianshengqiao (Penman & Rocha Filho, 2000).	32
Figura 2.9 – Deflexão do segundo estágio de construção da face de concreto da Barragem de Tianshengqiao (Penman & Rocha Filho, 2000).....	33
Figura 2.10 – Deflexões do segundo estágio da laje na seção B da Barragem de Tianshengqiao (Penman & Rocha Filho, 2000).	34
Figura 2.11 – Deflexões do segundo estágio da laje na seção C da Barragem de Tianshengqiao (Penman & Rocha Filho, 2000).	34
Figura 2.12 – Deflexões da face de concreto da Barragem de Tianshengqiao 1, em 1999, medida por eletrônives. (Penman & Rocha Filho, 2000)	35
Figura 3.1 – Rotação de um corpo rígido	37
Figura 3.2 – Vista de eletrônives. a) eletrônível com quatro pinos (eletrodos) b) eletrônível com três pinos. (www.frederickscom.com).	38
Figura 3.3 – Circuito elétrico de conexão dos eletrônives.	39
Figura 3.4 – Curvas de sensibilidade dos eletrônives (www.frederickscom.com).	39
Figura 3.5 – Dimensões da cápsula dos eletrônives aplicados na face de concreto da barragem de Mazar.	40
Figura 3.6 – Barra de calibração dos eletrônives.	41
Figura 3.7 – Exemplo de curva usada na determinação do Fator de Calibração.	41
Figura 3.8 – Nuvem de pontos de rotação em função da distância longitudinal da face de concreto.	43
Figura 3.9 – Deformada de uma face de concreto de uma BEFC por análise incremental.	43

Figura 3.10 – Deformada de uma face de concreto de uma BEFC por análise incremental.	44
Figura 3.11 – Deformada de uma face de concreto de uma BEFC por análise sequencial.	45
Figura 3.12 – Deformadas da face de concreto de BEFCs obtidas pelas análises incremental e sequencial.	45
Figura 3.13 – Curva de momentos fletores (análise seqüencial).	47
Figura 3.14 – Resposta carga-deslocamento em vigas de concreto armado.	47
Figura 3.15 – Diagramas de deformação e tensão para uma viga no Estágio I.	48
Figura 3.16 – Diagrama de deformação da seção retangular.	50
Figura 4.1 – Seção máxima da barragem de Mazar	55
Figura 4.2 – Avanço da construção da barragem até Fevereiro de 2009.	56
Figura 4.3 – Vista do talude de jusante da barragem de Mazar em 26 de outubro de 2008 (www.constructoramazar.com.ec).	57
Figura 4.4 – Vista do talude de montante da barragem de Mazar em março de 2009.	58
Figura 4.5 – Características geométricas da face de concreto da barragem de Mazar.	58
Figura 4.6 – Linhas de instrumentação com eletrônives da face de concreto da barragem de Mazar.	59
Figura 4.7 – Geometria da fundação nas seções instrumentadas com eletrônives. (a) Seção A; (b) Seção B; (c) Seção C e (d) Seção D.	60
Figura 4.8 – Vista das linhas de eletrônives das seções A e C instalados na face da barragem de Mazar em março de 2009.	61
Figura 4.9 – Detalhes da base de fixação e da proteção (EN-A2).	61
Figura 4.10 – Carretéis dos cabos armazenados na parte superior da laje após instalação dos eletrônives.	61
Figura 4.11 – Vista do eletrônível ligado aos cabos e posicionado no interior da cápsula.	63
Figura 4.12 – Vista dos eletrônives apoiados em bancada plana para secagem completa da resina.	63
Figura 4.13 – Vista dos eletrônives após a colocação da resina.	64
Figura 4.14 – Vista do eletrônível preparado para ser inserido na câmara de pressão.	64
Figura 4.15 – Vista do equipamento utilizado para o ensaio de estanqueidade.	65
Figura 4.16 – Vista da unidade de leitura (<i>Mini Data-Logger</i>).	66
Figura 4.17 – Detalhes da unidade de leitura manual (<i>Mini Data-Logger</i>) da CMCS e da conexão com os eletrônives. (Wha, 1999).	66
Figura 4.18 – Ilustração das conexões entre os eletrônives, módulos conversores e condicionadores.	67
Figura 4.19 – Vista dos equipamentos do sistema de monitoramento de eletrônives (SME).	68
Figura 4.20 – Vista do painel do condicionador.	68
Figura 4.21 – Tela do programa SME (Sistema de Monitoramento de Eletrônives).	69
Figura 4.22 – Barra de Calibração dos eletrônives (Laboratório de Geotecnia PUC-Rio).	70

Figura 4.23 – Curvas de calibração de um conjunto de 9 eletrônives e do eletrônível de referência utilizando o mini-logger.....	71
Figura 4.24 – Curvas de calibração corrigidas pelo eletrônível de referência utilizando o mini-logger.....	71
Figura 4.25 – Gráfico das curvas de calibração máxima e mínima no mini-logger.....	72
Figura 4.26 – Gráfico dos fatores de calibração dos eletrônives para o Mini Data-Logger.....	74
Figura 4.27 – Gráfico dos fatores de calibração dos eletrônives para o SME.....	75
Figura 4.28 – Gráfico de compatibilização entre as leituras do SME e Mini Data-Logger.....	76
Figura 4.29 – Desenho em corte da face de concreto com incrementos positivos de leitura (ΔL) dos eletrônives na deflexão para jusante. ..	76
Figura 4.30 – Eletrônível fixado na face de concreto da Barragem de Mazar por meio de perfil metálico.....	77
Figura 4.31 – Plataformas de instalação ao longo de uma seção instrumentada.....	77
Figura 4.32 – Instalação e tomada da leitura de instalação com o Mini Data-Logger.....	78
Figura 4.33– Eletrônível protegido com selante de silicone, antes (a) e após (b) a aplicação.....	78
Figura 4.34 – Colocação da proteção metálica.....	78
Figura 4.35 – Vista dos eletrônives protegidos por concreto e cabos protegidos pela meia cana metálica.....	78
Figura 4.36 – Vista da Seção C instrumentada com eletrônives.....	78
Figura 5.1 – Variação das leituras com o tempo para a Seção A.....	80
Figura 5.2 – Variação das leituras com o tempo na Seção C.....	82
Figura 5.3 – Variação das leituras com o tempo na Seção D.....	82
Figura 5.4 – Variação das leituras com o tempo na Seção B.....	83
Figura 5.5 – Ajustes polinomiais aos pontos de rotação dos eletrônives da Seção A (08/12/08).....	84
Figura 5.6 – Melhores ajustes polinomiais aos pontos de rotação.....	85
Figura 5.7 – Variação com o tempo dos coeficientes de determinação dos eletrônives de A1 a A17.....	86
Figura 5.8 – Comparação entre as curvas incremental e polinomial (Seção A - 08/12/2008).....	88
Figura 5.9 - Comparação entre as curvas incremental e polinomial (Seção A - 05/01/2009).....	88
Figura 5.10 - Comparação entre as curvas incremental e polinomial – (Seção A -11/03/2009).....	88
Figura 5.11 – Comparação entre as curvas incremental e polinomial – (Seção B -16/08/2009).....	89
Figura 5.12 – Comparação entre as curvas incremental e polinomial – (Seção C -17/04/2009).....	89
Figura 5.13 – Comparação entre as curvas incremental e polinomial – (Seção D -15/07/2009).....	89
Figura 5.14 – Deflexões observadas na face de concreto durante a construção do corpo do enrocamento e aterro a montante (1º Estágio de Instalação).....	91

Figura 5.15 – Deflexão calculada na Seção A durante a construção do corpo da barragem (14/10/2008).	92
Figura 5.16 – Deflexão calculada na Seção A durante a construção do corpo da barragem e início da construção da berma a montante (31/10/2008).	92
Figura 5.17 – Deflexão calculada na Seção A durante a construção do corpo da barragem e da berma a montante (29/11/2008).	93
Figura 5.18 – Deflexão calculada na Seção A durante a construção do corpo da barragem e da berma a montante (30/12/2008).	93
Figura 5.19 – Deflexão calculada na Seção A durante a construção do corpo da barragem e da berma a montante (31/01/2009).	94
Figura 5.20 – Deflexão calculada na Seção A durante a construção do corpo da barragem e da berma a montante (28/02/2009).	94
Figura 5.21 – Deflexão calculada na Seção A imediatamente após o término da construção do corpo da barragem e da berma a montante (31/03/2009).	95
Figura 5.22 – Deflexões da face de concreto e compatibilização de leituras de diferentes estágios de instalação dos eletrônveis.	96
Figura 5.23 – Deflexões observadas na face de concreto no 2º estágio de instalação (Seção A).	97
Figura 5.24 – Deflexões observadas na face de concreto no 3º estágio de instalação (Seção A).	98
Figura 5.25 – Deflexões calculadas na Seção A em 28/09/2009.	99
Figura 5.26 – Deflexões observadas na face de concreto no 4º estágio de instalação (Seção A).	100
Figura 5.27 – Deflexões observadas na Seção A da face de concreto em todos os estágios de instalação.	101
Figura 5.28 – Deflexões calculadas na Seção C da face de concreto da Barragem de Mazar em 03/05/2009.	102
Figura 5.29 – Deflexões calculadas na Seção C da face de concreto da Barragem de Mazar em 19/08/2009.	103
Figura 5.30 – Deflexões calculadas na Seção C da face de concreto da Barragem de Mazar em 28/09/2009.	103
Figura 5.31 – Deflexões observadas na Seção C da face de concreto em todos os estágios de instalação.	104
Figura 5.32 – Deflexões calculadas na Seção D da face de concreto da Barragem de Mazar em 03/05/2009.	105
Figura 5.33 – Deflexões calculadas na Seção D da face de concreto da Barragem de Mazar em 27/08/2009.	105
Figura 5.34 - Deflexões calculadas na Seção D da face de concreto da Barragem de Mazar em 28/09/2009.	106
Figura 5.35 – Deflexões observadas na face de concreto em todos os estágios de instalação (Seção D).	107
Figura 5.36 – Deflexões calculadas na Seção D da face de concreto da Barragem de Mazar em 17/08/2009.	108
Figura 5.37 - Deflexões calculadas na Seção D da face de concreto da Barragem de Mazar em 28/09/2009.	108
Figura 5.38 – Deflexões observadas na face de concreto em todos os estágios de instalação (Seção B).	110

Figura 5.39 – Deflexões observadas na face de concreto da Barragem de Mazar em todas as seções. (Período 15/03/2009 a 28/09/2009 para as seções A, C e D e 27/07/2009 a 28/09/2009 para a Seção B.	111
Figura 5.40 – Momentos Fletores atuantes medidos nos diferentes estágios de instalação dos eletrôníveis (Seção A).	115
Figura 5.41 – Momentos fletores atuantes na Seção A em diferentes estágios e limites de fissuração do concreto.	116
Figura 5.42 – Momentos Fletores atuantes medidos nos diferentes estágios de instalação dos eletrôníveis (Seção A).	117
Figura 5.43 - Momentos fletores atuantes na Seção C em diferentes estágios e limites de fissuração do concreto.	118
Figura 5.44 – Deflexões observadas na face de concreto em todos os estágios de instalação (Seção D).	119
Figura 5.45 – Momentos fletores atuantes na Seção B em diferentes estágios e limites de fissuração do concreto.	120
Figura 5.46 – Momentos fletores atuantes na Seção B em diferentes estágios e limites de fissuração do concreto.	120
Figura 5.47 – Deflexões observadas na face de concreto em todos os estágios de instalação (Seção B).	121
Figura 5.48 - Vista da tela da interface gráfica para o cálculo das rotações na Seção A.	122
Figura 5.49 - Vista da tela da interface gráfica para o cálculo das deflexões na face de concreto na Seção A.	123
Figura 5.50 – Vista da tela da interface gráfica para o cálculo dos momentos fletores atuantes na face de concreto na Seção A.	123
Figura 5.51 – Vista da tela da interface gráfica para o cálculo dos momentos fletores atuantes na face de concreto na Seção A e os limites teóricos de fissuração.	124

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Barragens de enrocamento com altura superior a 150 metros (grande porte).....	25
Tabela 2.2 – Sequência de instalação dos eletrônives na Barragem de Tiangshengqiao (Penman & Rocha Filho, 2000).....	31
Tabela 4.1 – Cotas de instalação dos eletrônives.....	62
Tabela 4.2 – Etapas de instalação dos eletrônives.....	62
Tabela 5.1 – Coeficientes de Determinação para os ajustes polinomiais dos eletrônives A1 a A17.....	85
Tabela 5.2 – Valores do momento de Inércia da seção homogênea da face de concreto nos pontos de instalação dos eletrônives (Valores em m ⁴).....	113
Tabela 5.3 – Valores (em módulo) do momento de fissuração da seção da face de concreto nos pontos de instalação dos eletrônives (Valores em tf·m).....	114

Lista de Símbolos

Romanos

E	Módulo de elasticidade
E_{ci}	Módulo de elasticidade tangente inicial
I	Momento de inércia
M	Momento fletor
M_f	Momento fletor de fissuração do concreto
d	Deflexão da face de concreto
q	Carga aplicada
f_{ck}	Resistência característica do concreto à compressão
f_{tk}	Resistência característica do concreto à tração
R^2	Coefficiente de determinação

Gregos

ε	Deformação
σ	Tensão
σ_{ct}	Tensão octaédrica
θ	Rotação do eletrónivel
δ	Deslocamento

Lista de Abreviaturas

BEFC	Barragem de Enrocamento com Face de Concreto
EN	Eletronível
FC	Fator de Calibração
SME	Sistema de Monitoramento dos Eletroníveis
TSQ	Tianshengqiao I
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>