

4

Aplicação dos Eletrônveis na Barragem de Mazar

4.1.

Barragem de Mazar

A barragem de Mazar é uma BEFC de 166 m de altura localizada na parte sudeste do Equador, no rio Paute, a 100 km da cidade de Cuenca. 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. O vale é assimétrico, com uma ombreira direita íngreme de talude 0,6(H):1,0(V), ombreira esquerda com relação média de 1,3(H):1,0(V) e muito estreito, com relação A/H^2 (Área da face dividida pelo quadrado da altura) de 1,7.

4.1.1.

Construção da barragem

O rio foi desviado em dezembro de 2006, sendo que a ensecadeira, um enrocamento de 45 metros de altura com núcleo central, foi construído entre dezembro de 2006 e janeiro de 2007. Em seguida foram construídos os acessos temporários e feita a limpeza das fundações, de modo que a primeira camada da Zona 3C pôde ser colocada já em janeiro de 2007. No fim de julho de 2007, aproximadamente 700.000 m³ de enrocamento tinham sido colocados, 70% correspondendo à Zona 3C, como pode ser observado na seção máxima na Figura 4.1. (Orejuela, 2007).

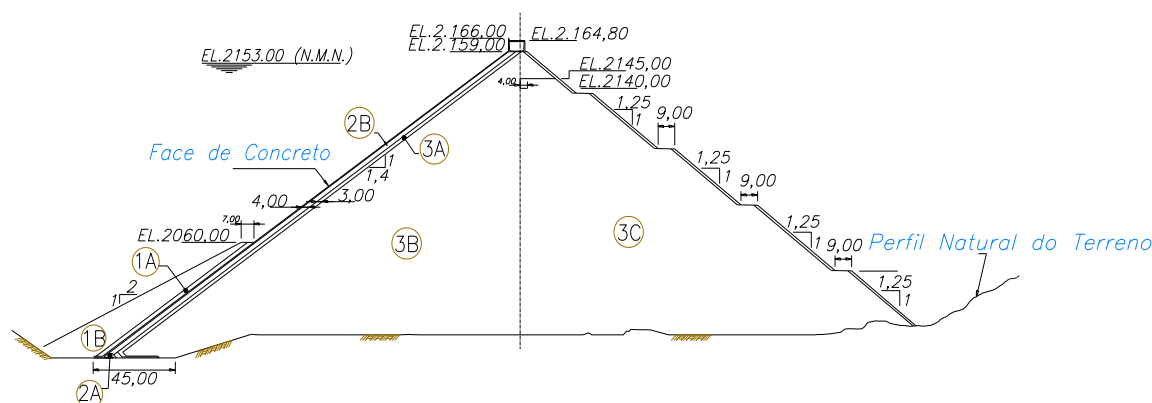


Figura 4.1 – Seção máxima da barragem de Mazar

A Zona 3C foi compactada com 6 passadas de rolo vibratório de 13,5 toneladas, em camadas de 0,80 m, enquanto a Zona 3B foi compactada com camadas de 0,50 m. Já a Zona 2B foi compactada com 6 passadas de rolo vibratório de 10 toneladas, em camadas de 0,40 m e junto à ombreira com rolos de 1 tonelada em camadas de 0,20 m. Para a compactação, foi utilizado um volume de água equivalente a 300 l/m³.

O material da Zona 3C é proveniente de uma escombreira originada pela escavação subterrânea e produto da escavação do leito direito do rio Paute. A Zona 3B possui material retirado de pedreira constituída de xistos quartzíticos, cloríticos e/ou sericíticos. O material da Zona 2B foi processado da rocha proveniente dos rios Paute e Negro, sendo bem graduado, composto de areia e pedregulho de tamanho máximo de 7,5 cm.

O material da Zona 2A, colocado ao pé da barragem, consiste em material triturado proveniente do rio Negro, com tamanho máximo de 14 cm.

Na Figura 4.2 é apresentado o avanço construtivo do corpo da barragem e da berma a montante até fevereiro de 2009. Na Figura 4.3 é mostrada a vista à jusante da barragem em outubro de 2008.

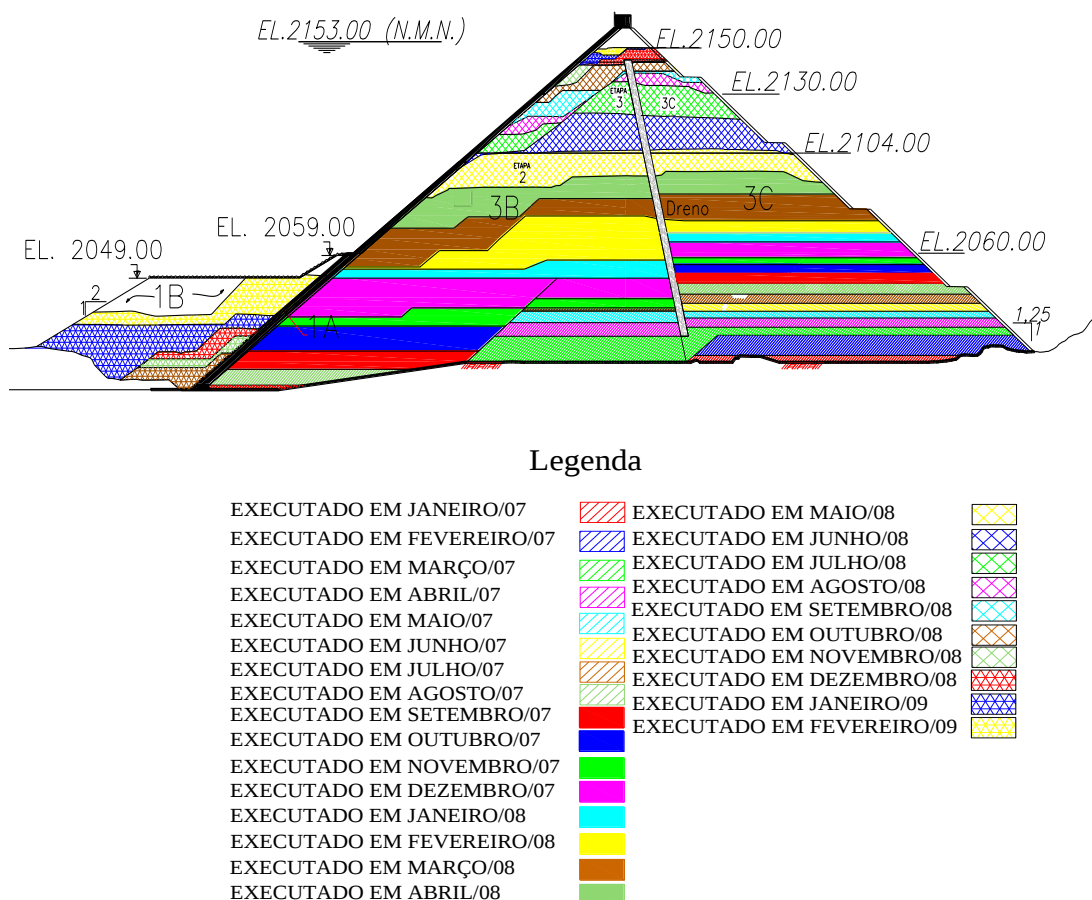


Figura 4.2 – Avanço da construção da barragem até Fevereiro de 2009.



Figura 4.3 – Vista do talude de jusante da barragem de Mazar em 26 de outubro de 2008 (www.constructoramazar.com.ec).

4.1.2.

Características da face de concreto

As seguintes recomendações com relação à face de concreto foram obtidas com auxílio de uma análise tridimensional para determinação das tensões e deformações no enrocamento e na face de concreto da barragem de Mazar:

- Adoção de lajes subparalelas (lajes de arranque) nas ombreiras para evitar concentração de deslocamentos nessa região. A laje possui espessura variável, determinada pela fórmula:

$$e = 0,30 + 0,006 h \text{ (m)} \quad (4.1)$$

Onde h é entre distância do ponto da laje e a crista (Figura 4.5)

- Adoção de lajes de 7,5 m de largura na região de compressão. As demais lajes são de 15 metros de largura. Na Figura 4.4 é apresentada a vista do talude a montante em março de 2009, quando as lajes se encontravam em construção. A espessura da laje varia segundo a seguinte expressão:

$$e = 0,30 + 0,003 h \text{ (m)} \quad (4.2)$$

- Armadura da laje de 0,5% nas duas direções.
- Adoção de juntas verticais com espaçamento de 3,2 cm.



Figura 4.4 – Vista do talude de montante da barragem de Mazar em março de 2009.

Na Figura 4.5 são mostradas as características geométricas da seção da laje. Nota-se a presença de lajes de arranque, cuja espessura também é dada pela equação 3.1.

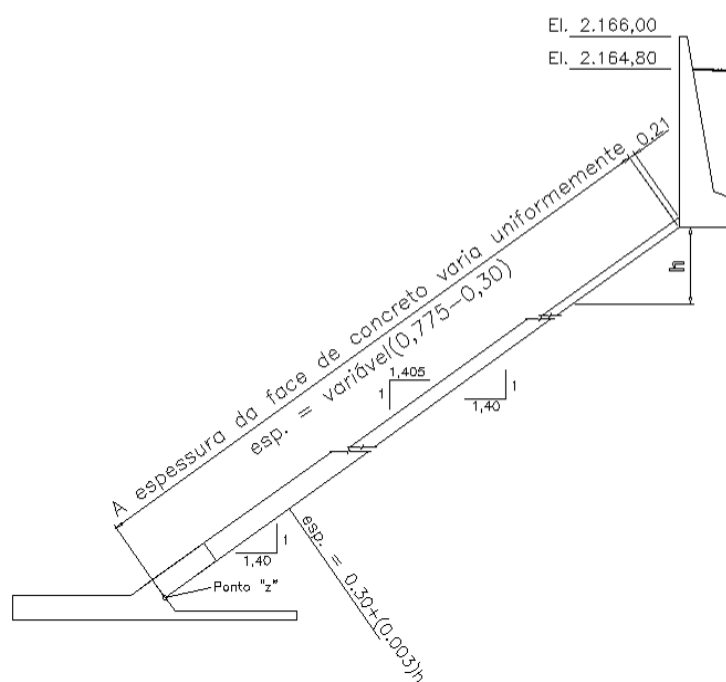


Figura 4.5 – Características geométricas da face de concreto da barragem de Mazar.

4.1.3. Instalação dos eletrônives

Os eletrônives foram instalados em quatro seções da face de concreto, denominadas A (32 unidades), B (11 unidades), C (18 unidades) e D (19 unidades), totalizando 80 unidades. Na Figura 4.6 é apresentado o desenho da face de concreto, com as linhas de posicionamento dos eletrônives. Pode também ser observada a localização das juntas horizontais de construção da face. As regiões hachuradas correspondem às lajes de arranque.

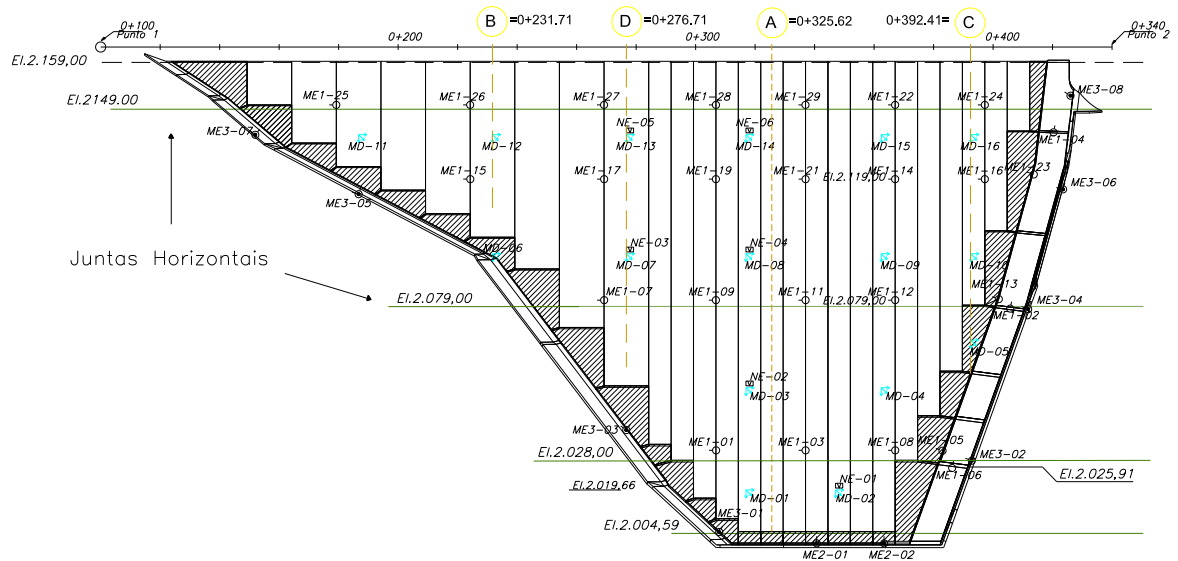


Figura 4.6 – Linhas de instrumentação com eletrônives da face de concreto da barragem de Mazar.

O dimensionamento dos cabos foi realizado considerando a distância entre cada eletrônível e a casa de leitura, a ser posicionada na crista da barragem na posição da linha A, acrescida de 10 metros para garantir o correto manuseio dos cabos sem a necessidade de realizar emendas. Foram utilizados cabos KmP 4x18, com 7,65mm de diâmetro, em um total de 12.935 metros, com comprimentos variando de 10 a 282 metros, e posteriormente enrolados em carretéis adequados.

Na Figura 4.7 podem ser vistas as seções instrumentadas com eletrônives, nas quais se podem observar as características geométricas da fundação.

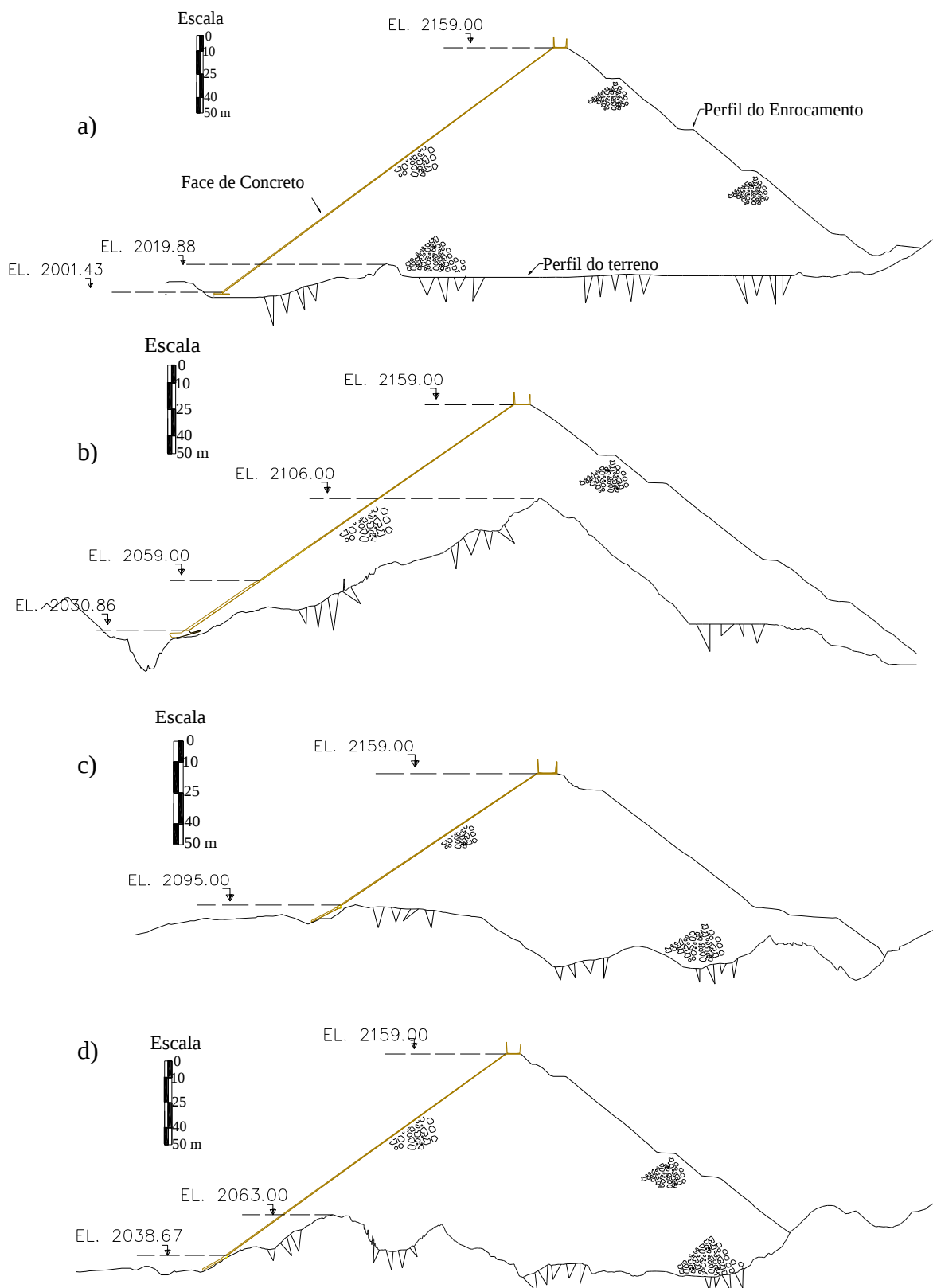


Figura 4.7 – Geometria da fundação nas seções instrumentadas com eletrônives. (a) Seção A; (b) Seção B; (c) Seção C e (d) Seção D.

A instalação dos eletrônives ocorreu em etapas, acompanhando a execução da face de concreto. A Seção A foi instrumentada em quatro etapas, as seções C e D em três

etapas e a Seção B em duas etapas. A primeira etapa de instalação ocorreu no período entre 7 e 15 de outubro de 2008. Naquela ocasião puderam ser instalados 17 eletrônicos na seção A, ou seja, EN-A1 a EN-A17. Na Figura 4.8 é apresentado o detalhe da fixação do EN-A2. O procedimento de instalação será descrito no item 4.5 do presente capítulo. No Capítulo 5 serão discutidos os resultados obtidos nessa etapa inicial.



Figura 4.9 – Detalhes da base de fixação e da proteção (EN-A2).

A segunda etapa de instalação da Seção A (1ª das Seções C e D) ocorreu no período de 11 a 18 de março de 2009, quando foram instalados 31 eletrônicos nas seções A (11 unidades), C (15 unidades) e D (5 unidades), já que a laje na região da seção B estava em construção. Não foram instalados todos os eletrônicos das seções, pois a parte superior da face ainda não havia sido executada, como pode ser observado nas Figuras 4.4 e 4.9.

Na Figura 4.8 se observa um trecho da face com os eletrônicos das linhas A e C instalados na região construída da laje. Após a instalação, os carretéis contendo os cabos que ligam os eletrônicos à casa de leitura foram armazenados na parte superior da laje (Figura 4.10).

A segunda etapa de instalação da Seção D ocorreu em 4 de junho de 2009, quando foram instalados 13 eletrônicos, totalizando 18 eletrônicos na seção, enquanto a segunda etapa da seção C ocorreu no dia 12 de julho de 2009, quando foram instalados 2 eletrônicos (C16 e C17), correspondendo também à terceira etapa da Seção A, quando foram instalados 3 eletrônicos (A29 a A31).

A primeira etapa de instalação da Seção B ocorreu no dia 24 de julho de 2009, quando foram instalados 10 eletrônicos (B1 a B10).



Figura 4.8 – Vista das linhas de eletrônicos das seções A e C instalados na face da barragem de Mazar em março de 2009.



Figura 4.10 – Carretéis dos cabos armazenados na parte superior da laje após instalação dos eletrônicos.

A última etapa de instalação ocorreu em 27 de Agosto de 2009 quando foram instalados os eletrônives D19, C18, A32 e B11, concluindo a instalação dos 80 eletrônives.

Na Tabela 4.1 são apresentadas as cotas de instalação dos eletrônives, enquanto na Tabela 4.2 são mostradas as etapas de instalação descritas anteriormente.

Tabela 4.1 – Cotas de instalação dos eletrônives.

Seção A	Cota (m)	Seção B	Cota (m)	Seção C	Cota (m)	Seção D	Cota (m)
EN-A01	2002,43	EN-B01	2099,20	EN-C01	2058,00	EN-D1	2056,00
EN-A02	2003,99	EN-B02	2104,50	EN-C02	2061,00	EN-D2	2057,00
EN-A03	2008,49	EN-B03	2110,50	EN-C03	2067,00	EN-D3	2060,00
EN-A04	2012,96	EN-B04	2116,50	EN-C04	2073,00	EN-D4	2064,00
EN-A05	2017,47	EN-B05	2122,50	EN-C05	2078,00	EN-D5	2069,00
EN-A06	2022,47	EN-B06	2128,50	EN-C06	2084,00	EN-D6	2075,00
EN-A07	2027,48	EN-B07	2134,50	EN-C07	2090,00	EN-D7	2081,50
EN-A08	2031,97	EN-B08	2141,00	EN-C08	2096,00	EN-D8	2088,00
EN-A09	2036,46	EN-B09	2147,50	EN-C09	2102,00	EN-D9	2094,50
EN-A10	2040,98	EN-B10	2152,50	EN-C10	2108,00	EN-D10	2101,00
EN-A11	2045,48	EN-B11	2157,50	EN-C11	2116,00	EN-D11	2107,50
EN-A12	2049,98			EN-C12	2124,50	EN-D12	2114,00
EN-A13	2054,47			EN-C13	2130,00	EN-D13	2120,50
EN-A14	2058,98			EN-C14	2135,00	EN-D14	2127,00
EN-A15	2063,49			EN-C15	2140,00	EN-D15	2133,50
EN-A16	2068,47			EN-C16	2148,50	EN-D16	2140,00
EN-A17	2073,48			EN-C17	2152,50	EN-D17	2146,50
EN-A18	2076,50			EN-C18	2157,50	EN-D18	2152,50
EN-A19	2084,00					EN-D19	2157,50
EN-A20	2090,00						
EN-A21	2096,00						
EN-A22	2101,50						
EN-A23	2107,00						
EN-A24	2112,50						
EN-A25	2118,00						
EN-A26	2123,50						
EN-A27	2129,00						
EN-A28	2134,50						
EN-A29	2140,50						
EN-A30	2146,50						
EN-A31	2152,50						
EN-A32	2157,50						

Tabela 4.2 – Etapas de instalação dos eletrônives.

	A	B	C	D
10/10/2008	A1 a A17	-	-	-
15/3/2009	A18 a A28	-	C1 a C15	D1 a D5
5/6/2009	-	-	-	D6 a D18
12/7/2009	A29 a A31	-	C16 e C17	-
24/7/2009	-	B1 a B10	-	-
27/8/2009	A32	B11	C18	D19

4.2. Montagem dos Eletrônives

Os 80 eletrônives utilizados possuem precisão de 12 segundos de arco e faixa linear de valores de $\pm 3^\circ$. O sensor fornece excelente estabilidade, sendo constituído de uma ampola hermética de vidro e quatro eletrodos de platina penetrando o líquido eletrolítico.

Para posicionar e proteger os eletrônives, foi realizada usinagem de cilindros de alumínio para produção de cápsulas próprias para receber as ampolas, como pôde ser visto no desenho contendo as dimensões na Figura 3.5. As cápsulas possuem no seu lado externo uma protuberância de 1,5 mm para encaixe nos perfis metálicos de fixação na face da barragem (Item 4.5) e apoio para a fixação na barra de calibração (Item 4.4).

As emendas dos fios dos eletrônives com os cabos foram protegidas por luvas termo retráteis, de forma a garantir uma vedação local dos contatos. Após o posicionamento das ampolas e sua conexão com os cabos, (Figura 4.11), as cápsulas foram preenchidas por resina de Epóxi catalisada (Resinpxi MA 040), com a finalidade de fixação da ampola na cápsula, além da proteção e impermeabilização das conexões.

Para tanto, os eletrônives foram apoiados em uma bancada plana durante 24 horas para secagem completa da resina (Figura 4.12), com os eletrodos mantidos na posição horizontal a fim de garantir o correto funcionamento dos eletrônives. Na Figura 4.13 pode ser observada a cápsula após a colocação da resina.

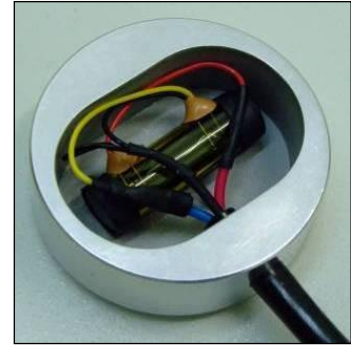


Figura 4.11 – Vista do eletrônível ligado aos cabos e posicionado no interior da cápsula

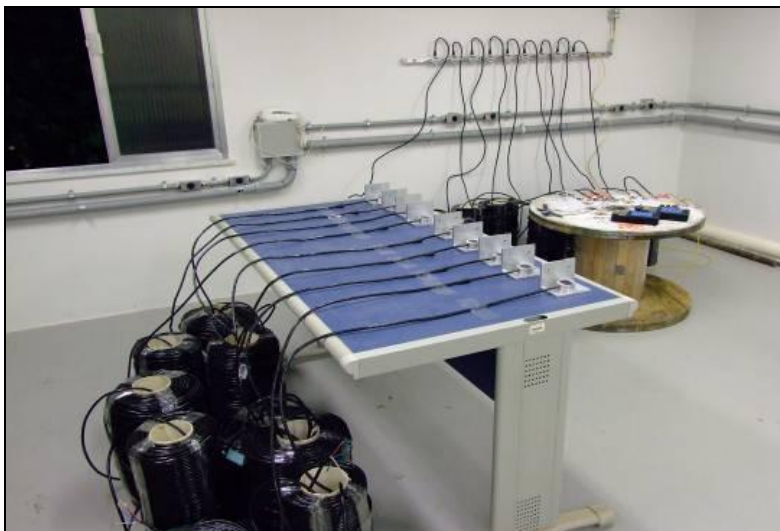


Figura 4.12 – Vista dos eletrônives apoiados em bancada plana para secagem completa da resina.



Figura 4.13 – Vista do eletrônível preparado para ser inserido na câmara de pressão.



Figura 4.14 – Vista dos eletrôníveis após a colocação da resina.

Para finalizar a etapa de montagem dos eletrôníveis, foi necessário vedar a passagem do cabo pelo orifício da cápsula. Para tanto, utilizou-se um selante de silicone (Dow Corning 7091) e uma peça de plástico, com abertura central de diâmetro igual ao do cabo, com a finalidade de confinar o silicone e proteger a região de contato.

Com o objetivo de avaliar o comportamento do eletrônível com relação à estanqueidade à pressão que será submetido após o enchimento do reservatório, foi realizado um ensaio no Laboratório da Engenharia Mecânica (Laboratório de Sensores a Fibra Ótica) da PUC-Rio. Neste ensaio, inicialmente o instrumento foi fixado em uma chapa metálica, aparafusado por intermédio da mesma plaqueta metálica utilizada na fixação na barra de calibração e envolto por uma borracha para encaixe adequado ao vaso do equipamento, como é mostrado na Figura 4.14. Em seguida, foi introduzido na câmara de pressão preenchido por água. Após a eliminação do ar dentro da câmara, aplicou-se uma pressão crescente até 300 m.c.a., superior a qualquer pressão existente no reservatório da barragem e tomaram-se as leituras durante todo o processo de incremento de pressões.

Na Figura 4.15 se pode ver a câmara de pressão, o equipamento de leitura da pressão aplicada e à direita a unidade de leitura manual dos eletrôníveis.

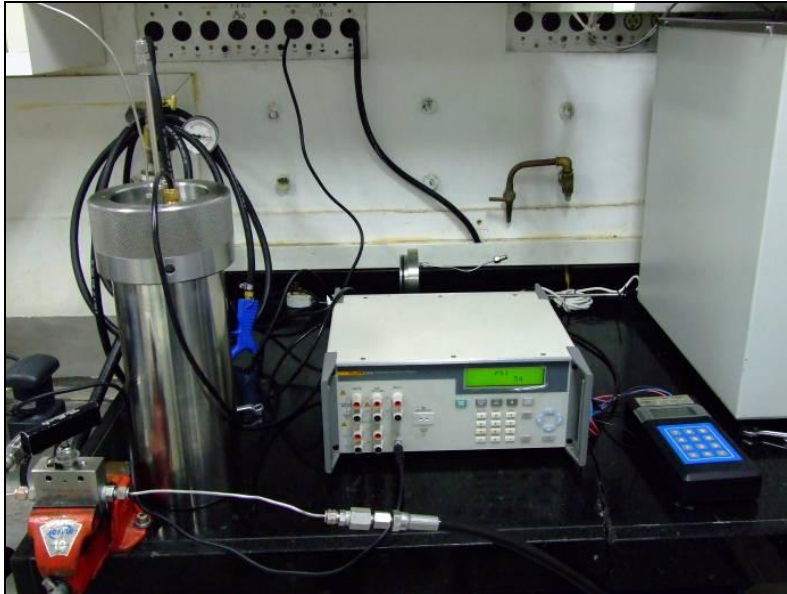


Figura 4.15 – Vista do equipamento utilizado para o ensaio de estanqueidade.

4.3. Sistemas de aquisição de dados

Foram utilizadas duas formas de leitura dos eletrônicos, descritas a seguir. A unidade de leitura manual, ou seja, o Mini Data-Logger da CMCS (*Construction Monitoring Control Systems*) foi utilizado durante o processo de instalação dos eletrônicos na face de concreto para estabelecer as suas leituras iniciais e para obter leituras periódicas nos primeiros meses de instalação, ainda na fase de construção do corpo de enrocamento e berma a montante.

O outro método de leitura consiste em um sistema automático de leitura e gravação dos dados dos eletrônicos desenvolvido na PUC-Rio, denominado Sistema de Monitoramento de Eletrônicos (SME). Apesar de o sistema ter sido desenvolvido no decorrer do presente trabalho, este não foi aplicado na barragem até o momento, sendo que se pretende proceder à sua instalação antes do enchimento do reservatório para acompanhar a movimentação da laje em tempo real.

4.3.1. Unidade de Leitura (*Mini Data-Logger*)

A unidade de leitura desenvolvida pela CMCS consiste em um dispositivo de três canais de leituras que podem ser usados independentemente, ou seja, é possível instalar até três eletrônicos para obter as leituras de cada um deles separadamente. O equipamento, que é apresentado na Figura 4.16, possui um visor de 6 dígitos e um teclado com funções



Figura 4.16 – Vista da unidade de leitura (Mini Data-Logger)

de programação, mudança de canal e ajuste de data e hora. Esse equipamento funciona com 4 pilhas AA.

O visor da unidade de leitura possui um intervalo de 19999 divisões, onde uma divisão corresponde a pouco mais de um segundo do arco, para o eletrônível utilizado na presente aplicação. Na Figura 4.17 são ilustrados alguns detalhes das conexões que podem ser feitas na unidade de leitura. Vale ressaltar a existência de uma porta paralela na qual se pode conectar o computador, caso se queira obter os dados através de software específico. Contudo, se optou por adotar a metodologia de anotar as leituras diretamente lidas no visor. Na porta serial é acoplada uma pequena caixa para três canais que possibilita a ligação de até três eletrôníveis simultaneamente.

O equipamento possui dimensões aproximadas de uma calculadora, sendo de fácil portabilidade, além de possuir um simples sistema de conexão.

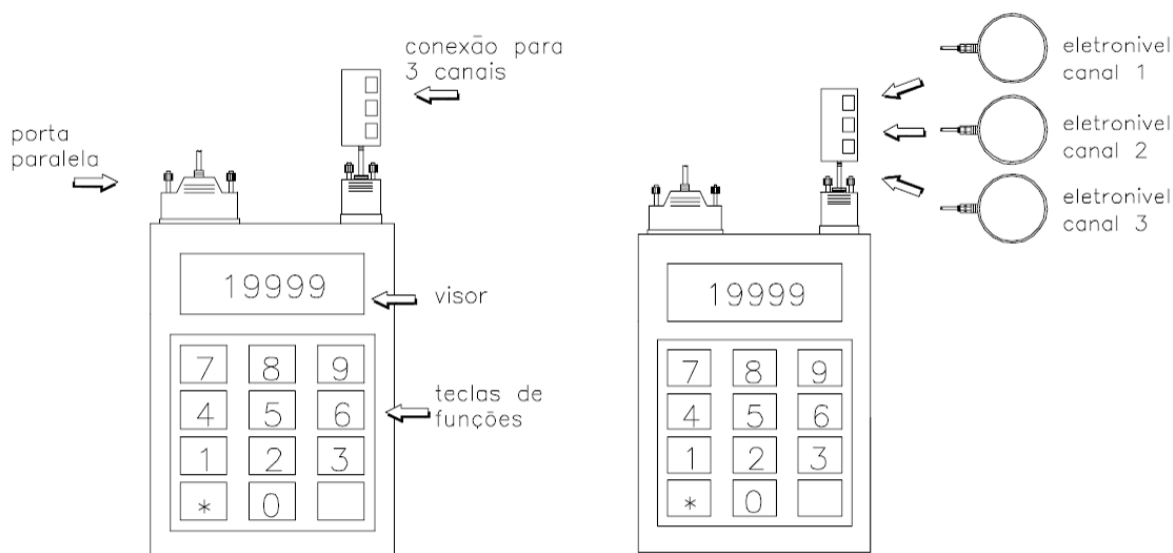


Figura 4.17 – Detalhes da unidade de leitura manual (Mini Data-Logger) da CMCS e da conexão com os eletrôníveis. (Wha, 1999).

4.3.2.

Sistema de Monitoramento dos Eletrôníveis (SME)

O SME é um programa auto-executável desenvolvido numa plataforma NI LabView 8.5 conjugada com o módulo de conversão A/D-D/A NI USB6229, do qual são utilizados 32 canais analógicos de entrada e 4 canais analógicos de saída. Com o objetivo de monitorar até 96 eletrôníveis, o sistema utiliza 3 módulos conversores (A, B e C), cada um deles controlado por um programa próprio (SME-A, SME-B

e SME-C) e associado a 2 módulos para condicionamento de eletrônives (Figura 4.18).

Além de adquirir os dados provenientes dos eletrônives, os conversores são responsáveis pela geração dos sinais senoidais que excitam os mesmos. Os módulos de condicionamento recebem os sinais senoidais dos eletrônives e fazem a retificação, gerando níveis c.c. (corrente contínua) de tensão (proporcionais às inclinações medidas), que são então transferidos para os conversores. Na Figura 4.19 pode ser visto o computador conectado aos três conversores, que por sua vez estão conectados aos condicionadores ainda abertos. Na Figura 4.20 pode ser visto em detalhe o painel de conexão dos condicionadores aos conversores.

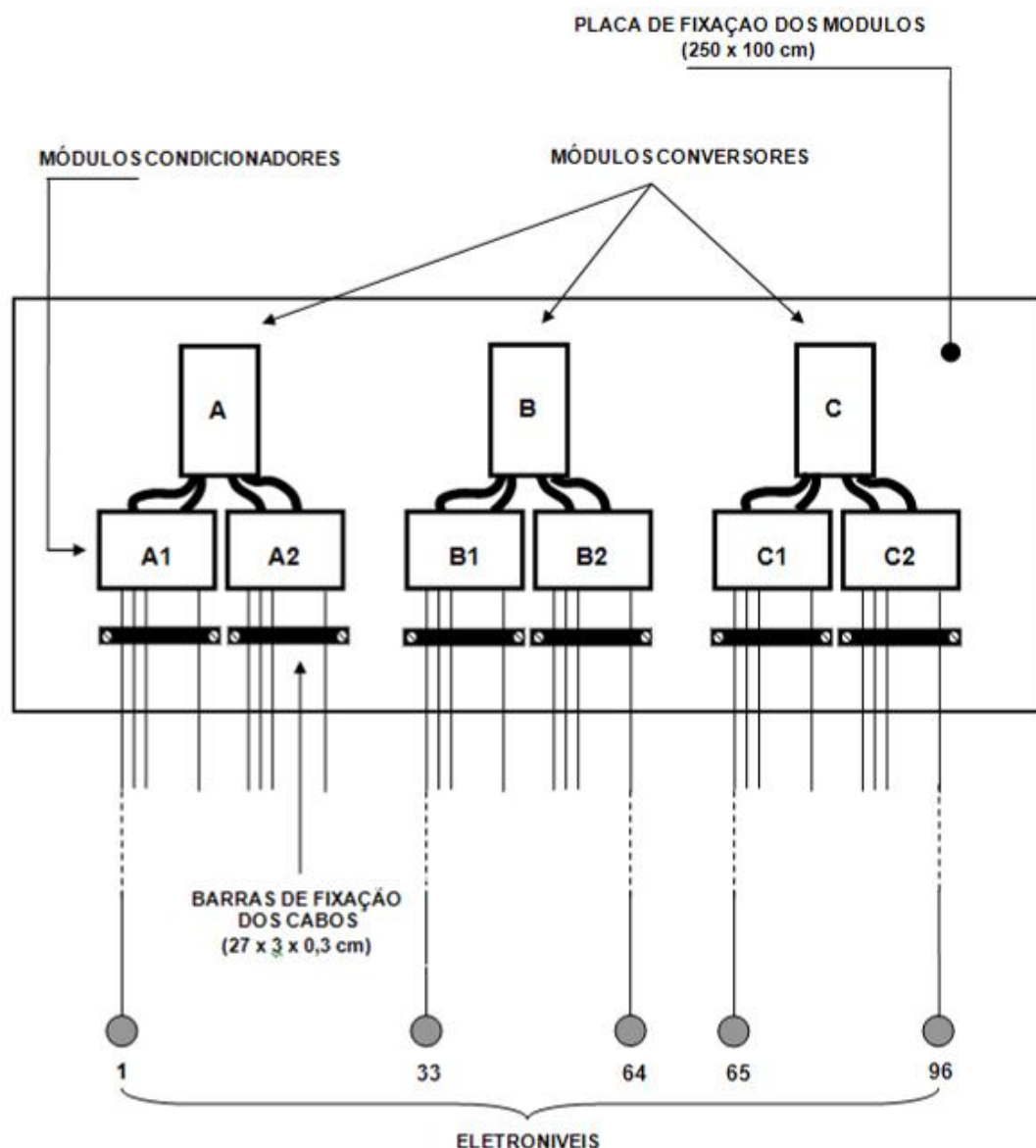


Figura 4.18 – Ilustração das conexões entre os eletrônives, módulos conversores e condicionadores.

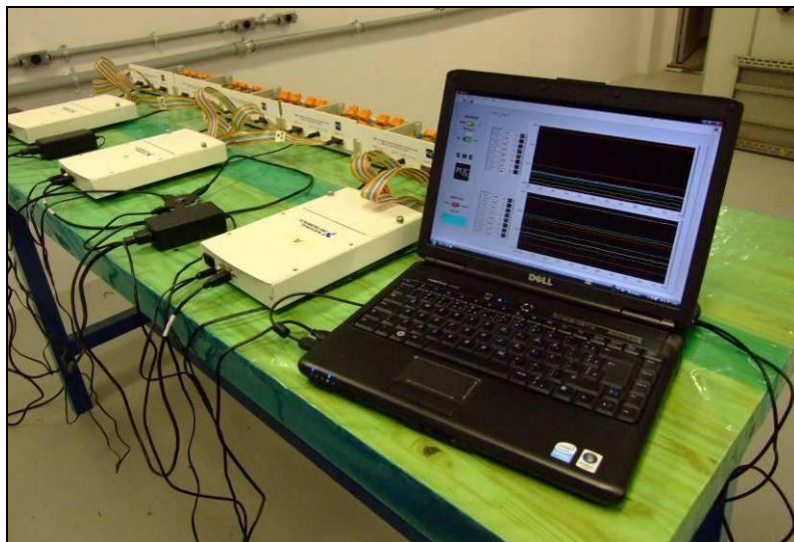


Figura 4.19 – Vista dos equipamentos do sistema de monitoramento de eletrônveis (SME).



Figura 4.20 – Vista do painel do condicionador.

Quando ativados, os programas SME (A, B e C) iniciam imediatamente a leitura e processamento dos dados, que são mostrados no painel nas formas numérica e gráfica e atualizados de acordo com o intervalo programado. A gravação dos dados, em arquivo .xls ou .txt, é iniciada somente após habilitada pela chave “gravação”. Qualquer alteração executada nos parâmetros do painel só é válida para a operação em curso, não sendo possível salvá-las para uso futuro. A tela do programa pode ser vista na Figura 4.21.

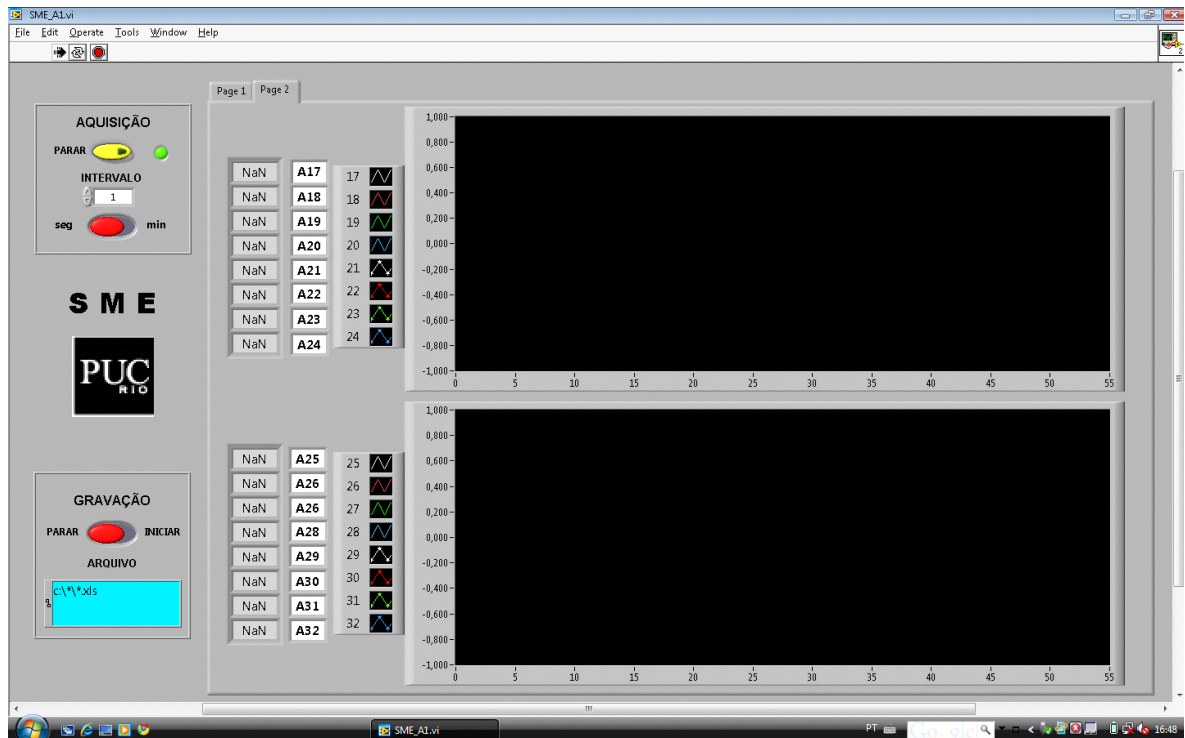


Figura 4.21 – Tela do programa SME (Sistema de Monitoramento de Eletrônives).

4.4. Calibração dos Eletrônives

Para a calibração dos eletrônives foi utilizada uma barra metálica contendo dez aberturas para seus posicionamentos, bem como roscas para a fixação das cápsulas com o auxílio de plaquetas metálicas aparafusadas, conforme descrito no Capítulo 3. A barra (Figura 4.22) foi fixada por uma rótula em uma de suas extremidades, sendo que na outra foi montado um sistema com rosca sem fim para variação dos ângulos. O passo da rosca é de 2,11 mm, e a distância entre os apoios da barra de 1,32 m. Sendo assim, pode-se obter o grau desejado aproximado pelo arco tangente do triângulo, que possui como cateto oposto o deslocamento obtido pelo número de passos da rosca e, como cateto adjacente, a distância entre as extremidades apoiadas da barra. A amplitude dos ângulos atingidos é superior a $\pm 3^\circ$.



Figura 4.22 – Barra de Calibração dos eletrôníveis (Laboratório de Geotecnia PUC-Rio).

O fator de calibração do eletrônível de referência fornecido para o mini data-logger da CMCS ($FC = 4,9 \cdot 10^{-6}$) foi utilizado para corrigir as leituras obtidas pelo sistema descrito anteriormente, ou seja, cada intervalo de leitura do eletrônível de referência representa um ângulo que pode ser obtido utilizando o seu fator de calibração (FC_{dummy}).

Sendo assim:

$$\theta = FC_{dummy} \cdot \Delta L \therefore \theta = 4,9 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta L \quad (4.3)$$

Onde: θ é o ângulo em radianos

FC é o fator de calibração

ΔL é a variação da leitura do eletrônível de referência

Vale ressaltar que o trecho de linearidade observado no eletrônível de referência foi de aproximadamente $\pm 1^\circ$ ($\pm 0,02$ rad), enquanto o trecho de linearidade dos eletrôníveis calibrados foi de $\pm 3^\circ$ ($\pm 0,06$ rad), conforme previsto pelas especificações do fabricante descritas anteriormente.

Como pode ser observado na Figura 4.23, que contém dados de um conjunto de nove eletrôníveis acrescidos do eletrônível de referência, através do sistema de variação dos ângulos instalado no Laboratório de Geotecnia da PUC-Rio, obteve-se linearidade nas curvas de calibração, sendo que o valor do coeficiente de determinação (R^2) para tais curvas foi igual a 1 para todos os eletrôníveis. No entanto, o trecho de linearidade do eletrônível de referência com calibração padrão ($4,9 \cdot 10^{-6}$) foi de $4,79 \cdot 10^{-6}$, sendo necessária a correção dos ângulos obtidos, indicada pela equação 4.3. As curvas corrigidas estão apresentadas na Figura 4.24.

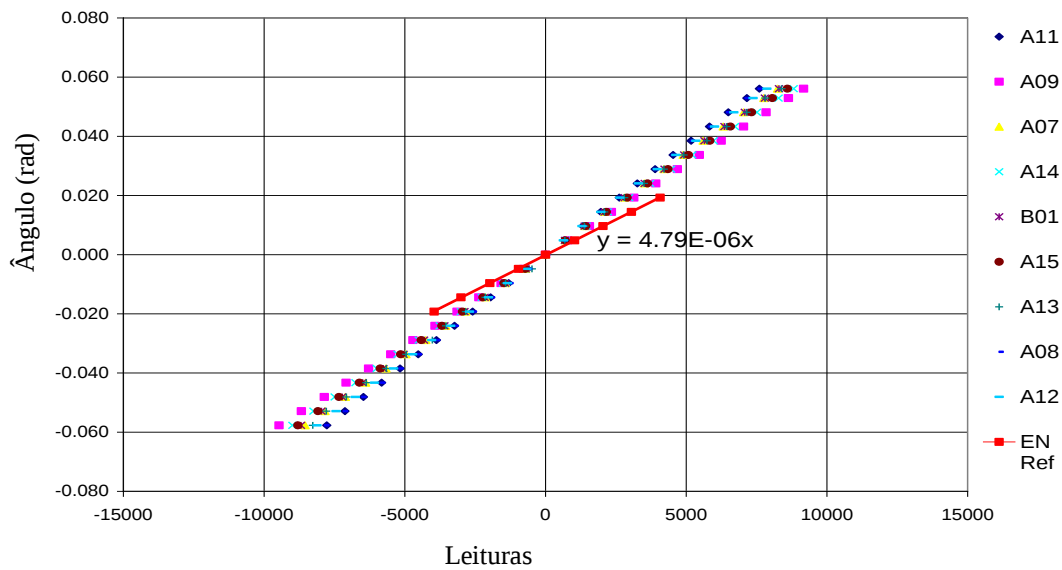


Figura 4.23 – Curvas de calibração de um conjunto de 9 eletrômetros e do eletrômetro de referência utilizando o mini-logger.

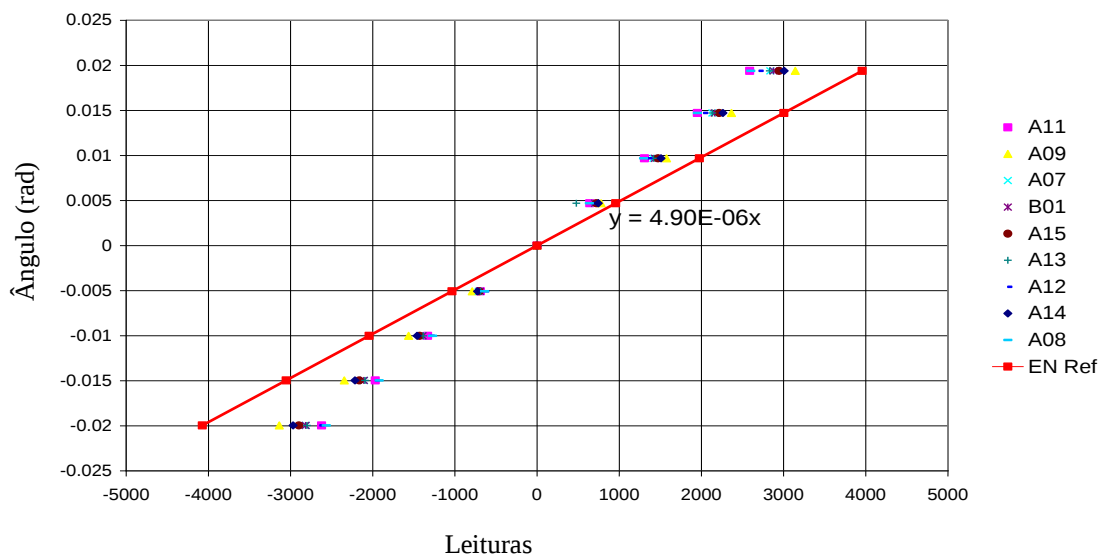


Figura 4.24 – Curvas de calibração corrigidas pelo eletrômetro de referência utilizando o mini-logger.

4.4.1.

Calibração com a utilização do Mini Data-Logger

Inicialmente a calibração foi realizada anotando-se 25 diferentes ângulos e as correspondentes leituras para cada conjunto de nove eletrômetros, além do *dummy*. O incremento adotado foi de 3 voltas na rosca sem fim, ou seja, 16' 34'' de grau (0,0048 rad), chegando-se a uma amplitude total de 72 voltas, ou seja, $\pm 3^\circ 18' 22''$ ($\pm 0,0577$ rad). Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados da calibração de um conjunto de nove eletrômetros. O trecho destacado nos resultados corresponde ao trecho de linearidade do *dummy*.

No Apêndice A estão contidas as tabelas com os

resultados da calibração de todos os 80 eletrônives, além o gráfico final no qual o eixo das abscissas corresponde às leituras e o eixo das ordenadas os ângulos em radianos. As retas obtidas nesses gráficos possuem inclinações que representam os fatores de calibração.

A partir de quatro conjuntos de calibração, ou seja, após 36 eletrônives calibrados, optou-se por variar apenas 13 ângulos com incrementos de 2 voltas ($11' 2''$ de grau ou $0,0032$ rad) na rosca sem fim por uma questão de praticidade, já que a linearidade já poderia ser obtida com essa variação menor. Sendo assim, foi obtida uma amplitude total de 26 voltas, ou seja, $\pm 1^\circ 6' 11''$ ($\pm 0,0193$ rad).

O maior fator de calibração para o data-logger obtido foi o do eletrônível A05 com um valor de $7,78 \cdot 10^{-6}$, enquanto o menor valor obtido foi de $5,90 \cdot 10^{-6}$ para o eletrônível A20. O valor médio dos fatores de calibração foi de $6,78 \cdot 10^{-6}$ com desvio padrão de 0,4306. A série de fatores de calibração apresenta 3 modas (trimodal): $6,54 \cdot 10^{-6}$, $6,76 \cdot 10^{-6}$ e $7,00 \cdot 10^{-6}$ e mediana de $6,73 \cdot 10^{-6}$. Na Figura 4.25 são mostradas as curvas de calibração com inclinações máxima e mínima, enquanto na Figura 4.26 são apresentados os coeficientes de calibração para o mini data-logger dos 80 eletrônives instalados na barragem de Mazar.

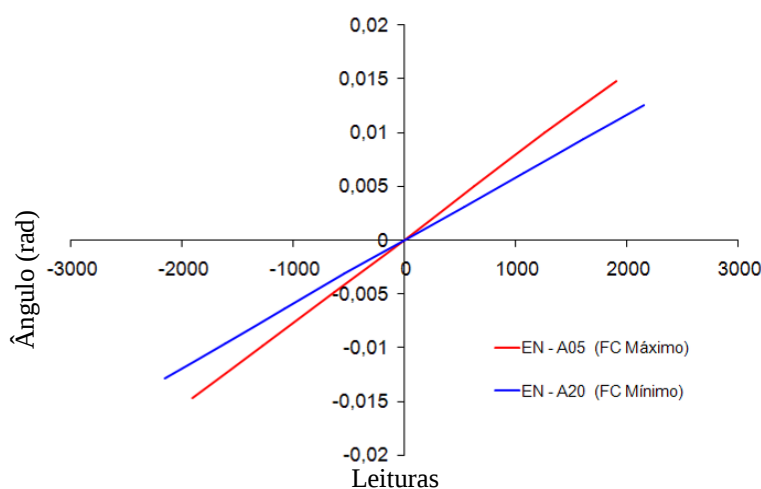


Figura 4.25 – Gráfico das curvas de calibração máxima e mínima no mini-logger.

Tabela 4.3 – Resultado da calibração de um conjunto de nove eletrônicos para o mini data-logger da CMCS

Voltas	tg α	α (°)	α (rad)	Ref	D4	B4	C2	D2	C5	C6	C3	D6	D1
-36	-0,058	-3,306	-0,058	19025	-8352	-8340	-9010	-8651	-8189	-8600	-8110	-8932	-8419
-33	-0,053	-3,031	-0,053	15528	-7660	-7654	-8252	-7934	-7505	-7900	-7669	-8166	-7701
-30	-0,048	-2,756	-0,048	13033	-6937	-6950	-7490	-7200	-6836	-7174	-6966	-7417	-7036
-27	-0,043	-2,481	-0,043	11157	-6238	-6257	-6722	-6472	-6149	-6453	-6262	-6663	-6343
-24	-0,039	-2,205	-0,038	9460	-5533	-5554	-5965	-5746	-5462	-5741	-5558	-5905	-5650
-21	-0,034	-1,93	-0,034	7907	-4839	-4864	-5219	-5020	-4791	-5032	-4860	-5171	-4968
-18	-0,029	-1,654	-0,029	6367	-4142	-4174	-4466	-4300	-4111	-4314	-4157	-4420	-4280
-15	-0,024	-1,379	-0,024	4986	-3444	-3477	-3706	-3574	-3441	-3609	-3461	-3690	-3611
-12	-0,019	-1,103	-0,019	3949	-2755	-2789	-2865	-2857	-2761	-2900	-2770	-2951	-2929
-9	-0,014	-0,827	-0,014	2983	-2064	-2096	-2216	-2132	-2086	-2200	-2077	-2222	-2262
-6	-0,01	-0,552	-0,01	1961	-1370	-1410	-1460	-1413	-1412	-1491	-1382	-1492	-1592
-3	-0,005	-0,276	-0,005	1023	-680	-719	-719	-691	-746	-790	-690	-767	-920
0	0	0	0	22	0	-38	25	24	-75	-90	-6	-47	-255
3	0,005	0,276	0,005	-894	667	647	748	720	574	595	665	670	413
6	0,01	0,552	0,01	-1919	1350	1329	1494	1439	1234	1288	1352	1375	1070
9	0,014	0,827	0,014	-2911	2017	2002	2221	2151	1899	1988	2042	2094	1744
12	0,019	1,103	0,019	-3893	2700	2698	2970	2875	2576	2690	2727	2809	2412
15	0,024	1,379	0,024	-5095	3380	3389	3716	3594	3241	3387	3421	3524	3078
18	0,029	1,654	0,029	-6630	4058	4077	4458	4314	3919	4083	4102	4233	3739
21	0,034	1,93	0,034	-8083	4733	4758	5198	5030	4570	4771	4785	4935	4414
24	0,039	2,205	0,038	-9900	5407	5447	5947	5750	5251	5472	5470	5646	5080
27	0,043	2,481	0,043	-15680	6090	6142	6697	6473	5930	6174	6164	6362	5760
30	0,048	2,756	0,048	-16906	6768	6826	7444	7199	6605	6871	6859	7077	6427
33	0,053	3,031	0,053	-17857	7440	7520	8190	7925	7279	7575	7554	7799	7110
35	0,056	3,214	0,056	-18518	8095	8188	8920	8638	7948	8270	8240	8511	7783
Calibrações (ajuste linear)			Coef ang	-4,92E-06	7,00E-06	6,97E-06	6,43E-06	6,67E-06	7,15E-06	6,83E-06	6,97E-06	6,62E-06	7,13E-06
			Coef linear	-0,0015	0,0003	0,0003	0	-0,0001	0,0007	0,0008	0,0001	0,0007	0,0019
			R ²	-0,987	1	1	1	1	1	1	1	1	1

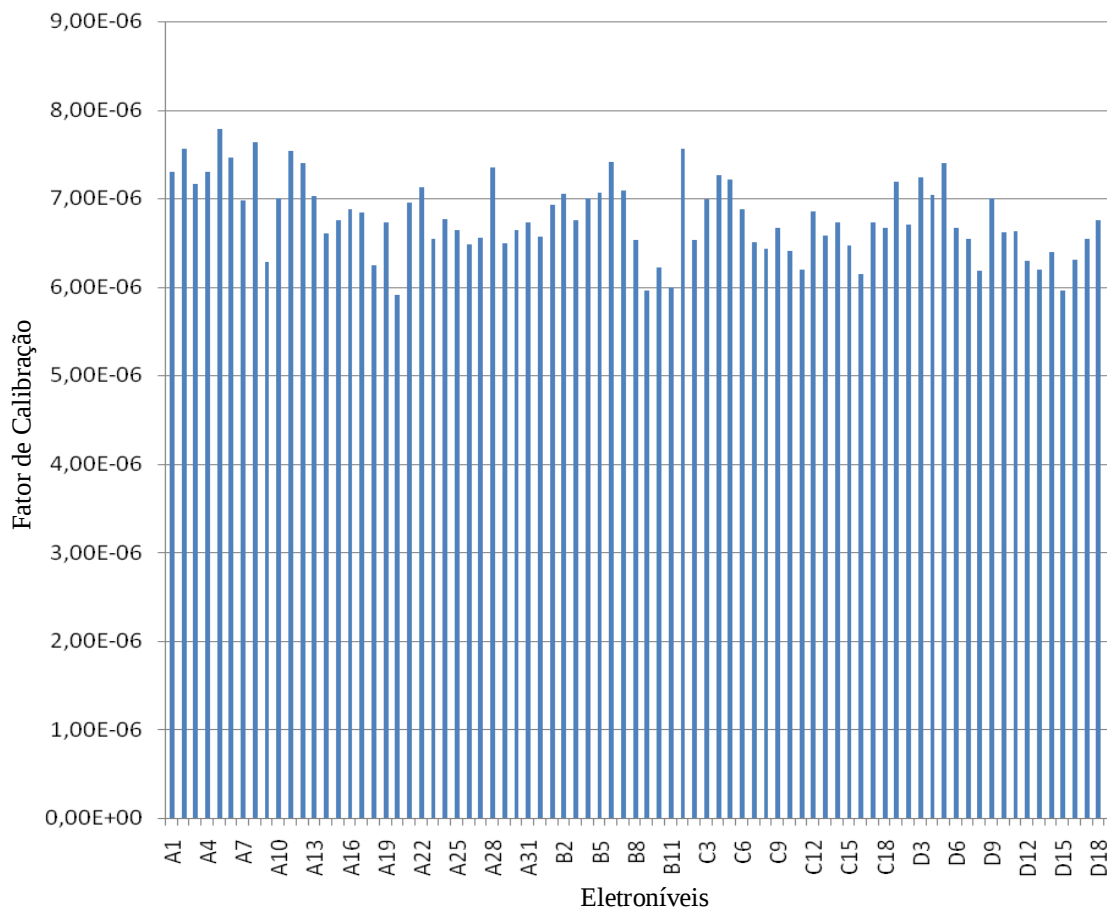


Figura 4.26 – Gráfico dos fatores de calibração dos eletrônives para o Mini Data-Logger.

4.4.2.

Calibração com a utilização do Sistema de Monitoramento de Eletrônives (SME)

Após três conjuntos de calibração, ou seja, 27 eletrônives calibrados, o Sistema de Monitoramento de Eletrônives (SME) já estava disponível para utilização. Sendo assim, se passou a efetuar as calibrações utilizando os dois sistemas (SME e Data-logger). O procedimento de calibração foi exatamente o mesmo, contudo o eletrônível de referência foi lido com o data-logger, por possuir calibração padrão para este equipamento.

O maior fator de calibração para o SME obtido foi para o eletrônível A05 com um valor de $2,12 \cdot 10^{-1}$, enquanto o menor valor obtido foi de $1,61 \cdot 10^{-1}$ para o eletrônível A20. O valor médio dos fatores de calibração foi de $1,84 \cdot 10^{-1}$ com desvio padrão de 0,0117. A série de fatores de calibração também apresenta 3 modas (trimodal): $1,81 \cdot 10^{-1}$, $1,83 \cdot 10^{-1}$ e $1,91 \cdot 10^{-1}$ e mediana de $1,83 \cdot 10^{-1}$. Na Figura 4.27 são apresentados os coeficientes de calibração para o SME dos 80 eletrônives instalados na barragem de Mazar.

No Apêndice A também estão contidas as tabelas com os resultados da calibração dos 53 eletrôníeis pelo SME.

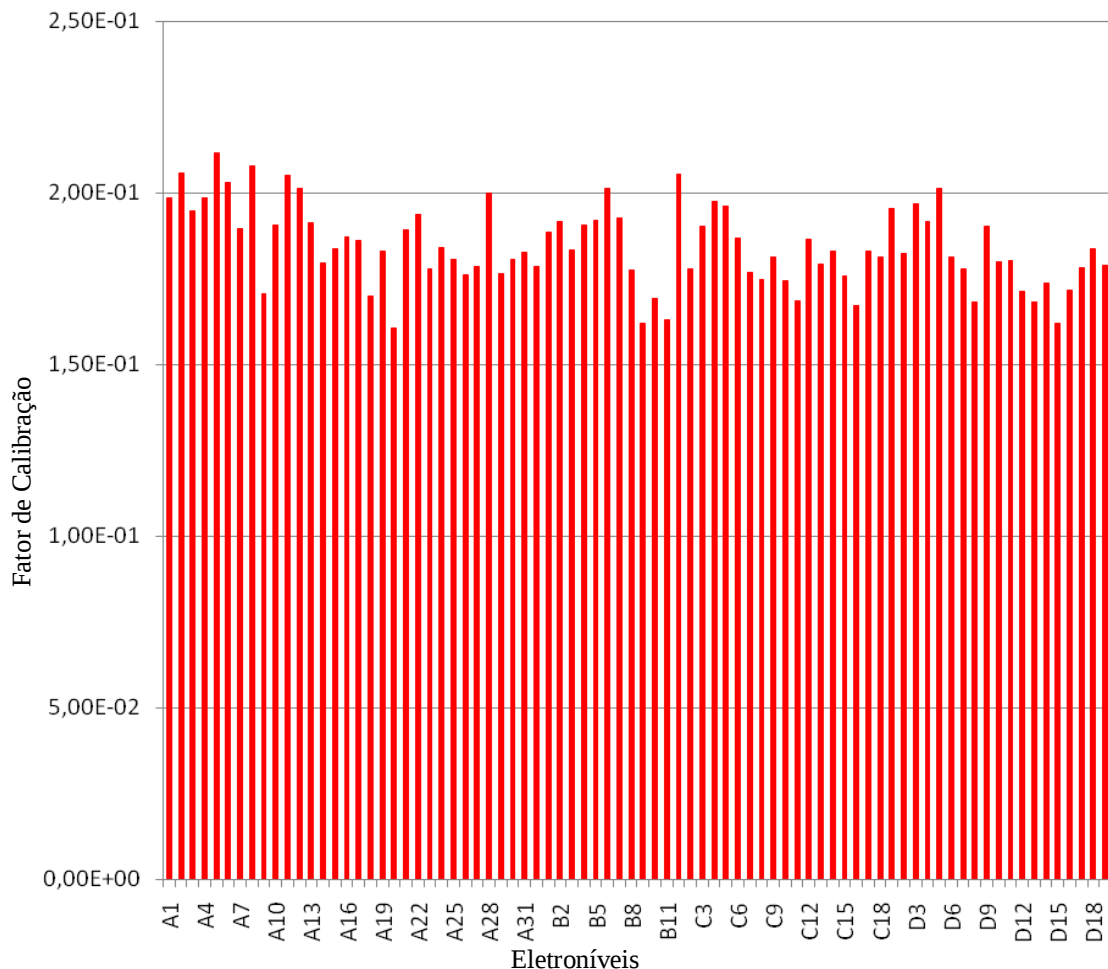


Figura 4.27 – Gráfico dos fatores de calibração dos eletrôníeis para o SME.

4.4.1.

Compatibilização entre Fatores de Calibração obtidos com o data-logger e com o SME

Os 27 primeiros eletrôníeis calibrados não possuíam fator de calibração para o SME. Por isso foi necessário fazer uma correlação entre as leituras obtidas pelo data-logger e o SME.

O procedimento para obtenção da correlação foi a leitura simultânea com a utilização dos dois sistemas. Para isso, foi necessário emendar cabos externos ao SME para permitir o contato com a leitora.

Na Figura 4.28 se pode observar a correlação entre as leituras obtidas. A inclinação da curva representa o fator de conversão das leituras. Portanto, os 27 fatores de calibração obtidos pelo Mini Data-Logger foram multiplicados pelo

fator de conversão ($3,68 \cdot 10^{-5}$) para obtenção dos fatores de calibração para o SME. No Apêndice A são apresentados os fatores de calibração obtidos.

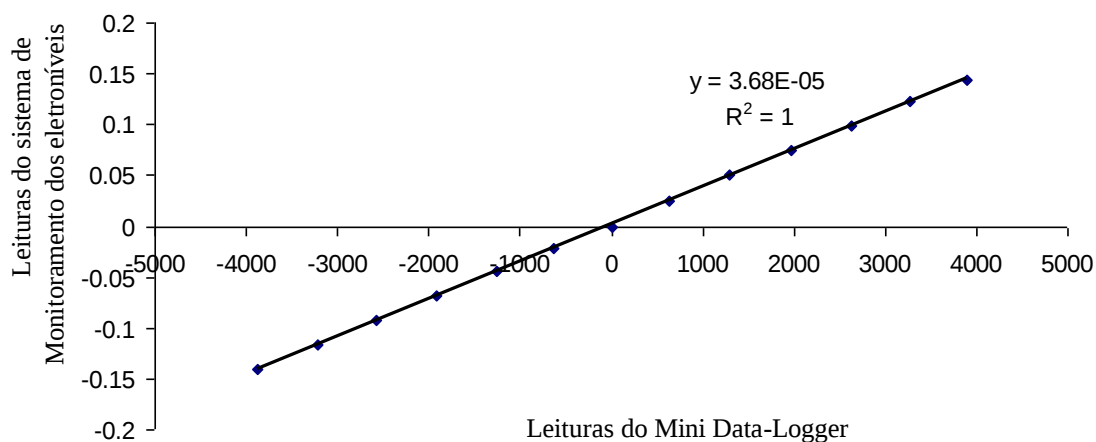


Figura 4.28 – Gráfico de compatibilização entre as leituras do SME e Mini Data-Logger

4.5. Procedimento de Instalação e Proteção dos Eletrôn timer

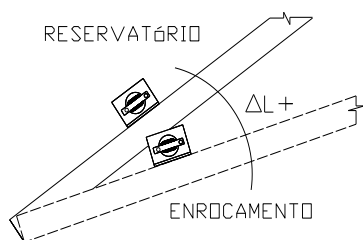


Figura 4.29 – Desenho em corte da face de concreto com incrementos positivos de leitura (ΔL) dos eletrôn timer na deflexão para jusante.

Para instalar os eletrôn timer foram produzidos perfis metálicos com abertura central para encaixe dos eletrôn timer e roscas para colocação dos parafusos de fixação dos eletrôn timer por meio da mesma plaqueta metálica utilizada na barra de calibração. Os eletrôn timer foram instalados de forma que incrementos positivos de leitura indiquem deflexões para jusante (Figura 4.29). Os perfis possuem ângulo reto, sendo que uma de suas faces é fixada na face da barragem por meio de parafusos e na outra é fixado o eletrôn timer, como pode ser observado na Figura 4.30. Para proceder à instalação foram posicionadas plataformas nas cotas de posicionamento dos instrumentos ao longo das seções instrumentadas (Figura 4.31).



Figura 4.30 – Eletronível fixado na face de concreto da Barragem de Mazar por meio de perfil metálico.



Figura 4.31 – Plataformas de instalação ao longo de uma seção instrumentada.

É importante ressaltar que se optou pela adoção de uma leitura inicial negativa com o objetivo de ampliar a faixa de leitura, sem atingir o limite de linearidade, uma vez que, com o enchimento do reservatório o incremento de leitura dar-se-á positivamente. Por isso foi necessário utilizar o Mini Data-Logger durante a fixação dos eletroníveis (Figura 4.32).



Figura 4.32 – Colocação da proteção metálica.



Figura 4.34 – Vista dos eletrônives protegidos por concreto e cabos protegidos pela meia cana metálica.



Figura 4.36 – Vista da Seção C instrumentada com eletrônives.



Figura 4.33 – Instalação e tomada da leitura de instalação com o Mini Data-Logger.

Após o posicionamento do eletrônível, aplicou-se mesmo o selante de silicone (Figura 4.33) que foi utilizado para vedar a passagem do cabo pelo orifício da cápsula, como uma proteção adicional à penetração de água no instrumento.

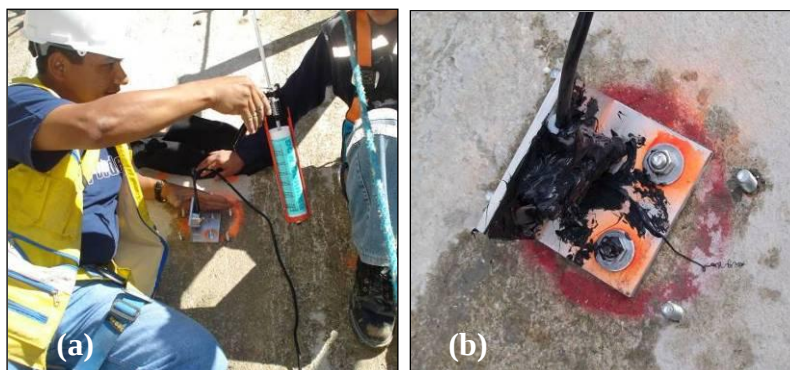


Figura 4.35– Eletrônível protegido com selante de silicone, antes (a) e após (b) a aplicação.

Com a finalidade de proteção mecânica contra eventuais impactos como troncos, metais, ou quaisquer outros elementos capazes de danificar o instrumento, se utilizou uma proteção metálica fixada sobre o perfil metálico descrito anteriormente. Como pôde ser observado na Figura 4.30, ao redor do perfil existem esperas de parafuso para receber a proteção metálica, que é então fixada por meio de porcas, como pode ser observado na Figura 4.34.

A última etapa da fixação dos eletrônives na face da barragem foi a proteção final de concreto sobre a proteção metálica e a colocação da meia-cana metálica sobre os cabos que são conduzidos até a casa de leitura, como é mostrado na Figura 4.35. Finalmente, na Figura 4.36 é se pode ver a Seção C instrumentada e com acabamento final.