

3 Materiais

3.1. Câmara instrumentada

A câmara consiste de uma estrutura de madeira (compensado naval com 19mm de espessura), com as dimensões 2,2m de comprimento, 1,4m de largura e 2,2m de altura. Dentro da mesma foi alocada uma mesa de aço, com tampo articulado, proporcionando inclinação de até 38 graus, às quais as amostras de solos foram submetidas ao longo dos experimentos.

Ao longo da Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6 é possível observar o esquema da mesma e as etapas de construção da câmara.

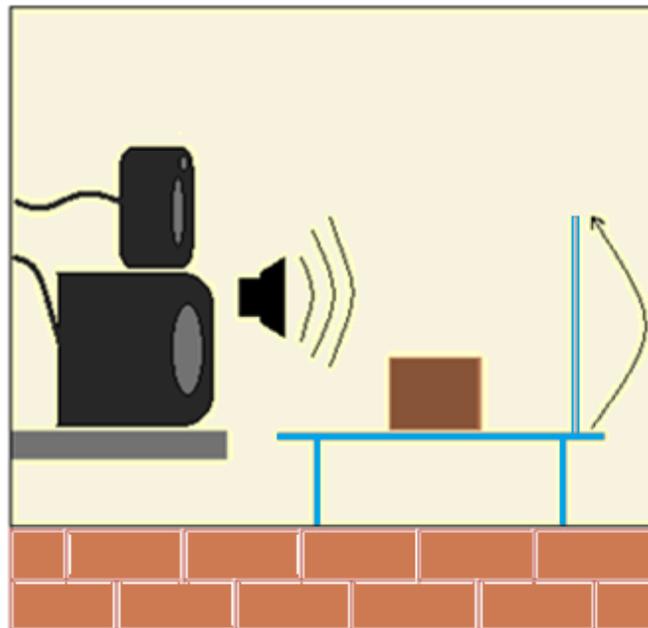


Figura 1: Esquema da câmara instrumentada



Figura 2: Etapa de construção da mesa com tampo articulado (a) e primeira disposição da mesma na área de ensaios (b)



Figura 3: Disposição da mesa e das caixas de som e amplificadores



Figura 4: Construção da câmara (a) e disposição inicial da mesa e das caixas de som (b)



Figura 5: Aplicação do revestimento de espuma acústica (a) e disposição final da mesa e das caixas (b)



Figura 6: Visão oblíqua da câmara com o apêndice para alocar os amplificadores e instrumentos de aquisição de dados

3.2.Som

O sistema de som é constituído por um conjunto que envolve dois amplificadores, uma mesa de som, duas caixas de grave e duas caixas de médio grave, conectadas por um cabeamento próprio.

3.3. Amplificadores e mesa de som

Os amplificadores utilizados são da marca MAX G – X SERIES, com a potência somada de 4500W RMS. A mesa utilizada é fabricada pela OMX, modelo 412, com 4 canais. A mesa atua como uma ponte entre os sistemas de amplificação e a fonte geradora de som (Figura 7).



Figura 7: Amplificadores e mesa de som

3.4. Cabos e conectores

Na atualidade, existe uma grande variedade de tipos de cabos, disponíveis para instrumentação no mercado. Deste modo, um cabo ideal agiria como um simples condutor de eletricidade e não teria efeito no sinal transmitido.

Para o sistema desenvolvido, foram utilizados os cabos PP de 2,5mm² com os conectores Speakon de 4 polos (Figura 8), devidamente adequados para o trabalho em altas potências e submetidos aos longos períodos de vibrações impostas.

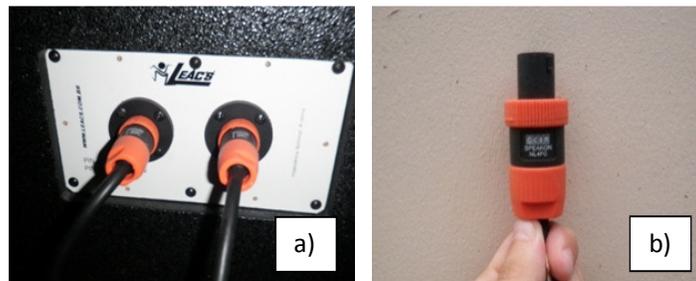


Figura 8: Conectores do tipo Speakon, utilizados para ligar os autofalantes aos amplificadores de potência.

3.5. Alto falantes

Na Figura 9, é possível observar as caixas de grave, com alto falantes de 18” e as caixas de médio-grave com autofalante de 15” e cornetas. As mesmas serão responsáveis por submeter as amostras aos efeitos das vibrações, proporcionadas pelas assinaturas (formas de ondas) dos trovões;



Figura 9: Caixas de grave e de médio grave

3.6. TDR PICO 32 - IMKO

Os TDR's, apresentados na Figura 10 são instrumentos utilizados para determinação de umidade volumétrica através da reflectometria no domínio do tempo (time domain reflectometry).



Figura 10: Dimensões do TDR PICO 32 – IMKO

A técnica utilizada consiste no cálculo do tempo de percurso de pulsos de voltagem entre as hastes, onde o solo é usado como dielétrico (Menziani *et al*, 1996). Quanto maior for a constante dielétrica (k_a) do material em contato com a linha de transmissão, mais lento será o tempo em que o pulso de voltagem irá percorrer o material, conforme mostra a Equação xiv.

xiv

$$k_a = \left[\frac{ct}{(2L)} \right]^2$$

Onde c é a velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo, t é o tempo e L é o comprimento da haste.

Sendo assim, Topp *et al* (1980) descreveram k_a como função direta da umidade volumétrica θ , determinando a sua relação através da utilização de uma equação polinomial de terceira ordem (Equação xv), com o apoio de valores de correção dispostos na Tabela 1.

xv

$$k_a = A + B\theta_v + C\theta_v^2 - D\theta_v^3$$

Tabela 1: Equação e erro estimado para a combinação de experimentos de determinação entre a constante dielétrica k_a e a umidade volumétrica θ (Adaptado de Topp, 1980)

Experimento		Coeficientes de $k_a = A + B\theta_v + C\theta_v^2 - D\theta_v^3$, \pm Desvio padrão				Erro estimado de k_a and θ_v , $\times 10^{-2}$
		A	B	C	D	
1, 2, 3	Rubicon SL	2.59 (± 0.16)	21.9 (± 1.9)	102 (± 5.6)	44.8 (± 3.9)	0.56 0.89
2, 4	Rubicon H ₂ O and Rubicon NaCl	2.65 (± 0.09)	16.5 (± 1.1)	123 (± 3.2)	61.0 (± 2.3)	0.26 0.83
1, 2, 3, 5, 7, 8, 9	all mineral soils	3.03 (± 0.25)	9.3 (± 2.8)	146 (± 8.2)	76.7 (± 5.7)	1.07 1.3
12, 13, 14	glass, 30 μ m	3.79 (± 0.25)	41.3 (± 3.2)	63.4 (± 10.8)	27.0 (± 8.0)	0.71 1.07
17, 18	glass, 450 μ m	3.57 (± 0.21)	31.7 (± 2.9)	114 (± 10.7)	68.2 (± 8.0)	0.71 1.14
12, 13, 14, 17, 18	glass, 30 μ m and 450 μ m	3.55 (± 0.17)	38.0 (± 2.2)	84.1 (± 7.9)	44.1 (± 5.9)	0.75 1.16

Devido a grande diferença entre a constante dielétrica da água e os outros materiais que constituem o solo, a velocidade do pulso de voltagem dependerá essencialmente do conteúdo de umidade volumétrica do solo (Topp *et al*, 1980). Entretanto a calibração dos instrumentos é de extrema relevância e autores como Dasberg & Hopmas (1992) e Dirksen & Dasberg (1993), também abordam a temática.

Os TDR's PICO 32 são enviados do fabricante IMKO com diversas calibrações. Na presente dissertação está sendo empregada inicialmente a calibração tipo A001 (Figura 11), para solos com as densidades entre 1.1kg/dm³ e 1,7kg/dm³. A utilização se justifica também pelo fato da curva de calibração possuir uma aproximação dos seus intervalos ao longo do período de saturação (Figura 12).

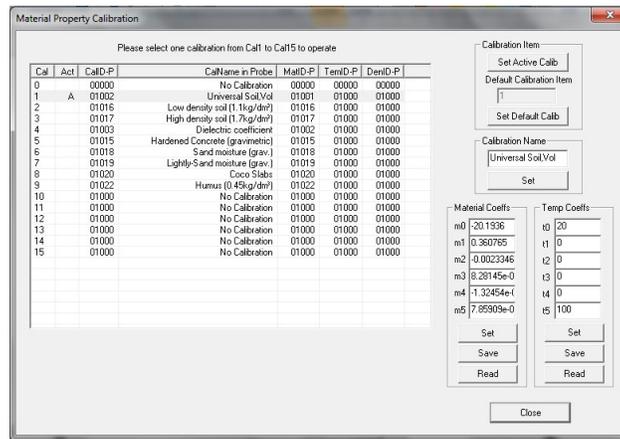


Figura 11: Calibrações de fábrica para os TDR's PICO 32 – IMKO

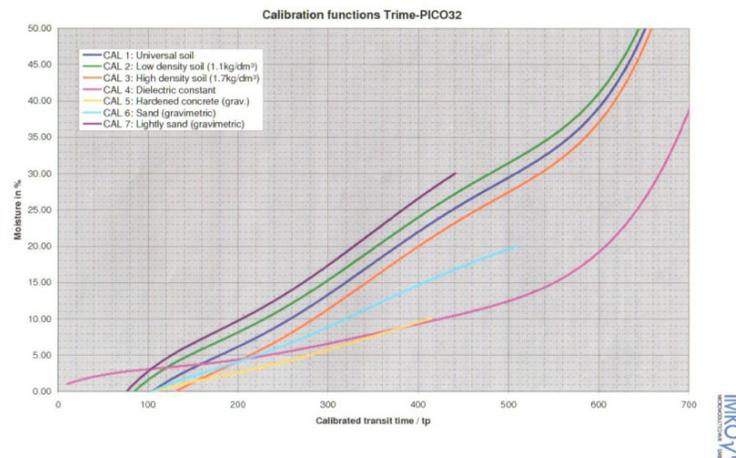


Figura 12: Curvas de calibração para diferentes tipos de solos

Entretanto, mesmo possuindo uma ampla gama de curvas de calibração passíveis de uso, constatou-se medidas inconsistentes de 100% de umidade volumétrica para os solos saturados. Deste modo, no item 4.5, executou-se a calibração dos TDR's para os materiais ensaiados garantindo uma maior precisão para as leituras adquiridas.

3.7.SM USB IMKO

Para a obtenção dos dados, o módulo de conversão de dados IMKO SM USB, (Figura 13) é utilizado para a comunicação dos TDR's PICO 32. Embora o sistema faça a leitura dos dados, é necessário um computador para o armazenamento dos mesmos, assim como uma fonte de alimentação externa de 12V.



Figura 13:Módulo de conversão de dados IMKO SM USB

3.8.Software (PICO Config)

A IMKO disponibiliza, juntamente com o hardware, o software com uma interface de fácil manuseio. O primeiro passo é adequar o sensor à porta serial que será utilizada. Após o cumprimento desta etapa, características do sensor, como o número de série já poderão ser observados na tela. Outra disponibilidade do programa é a possibilidade de adequar os valores mínimos e máximos que serão obtidos na leitura através do Basic Balance (Figura 14).

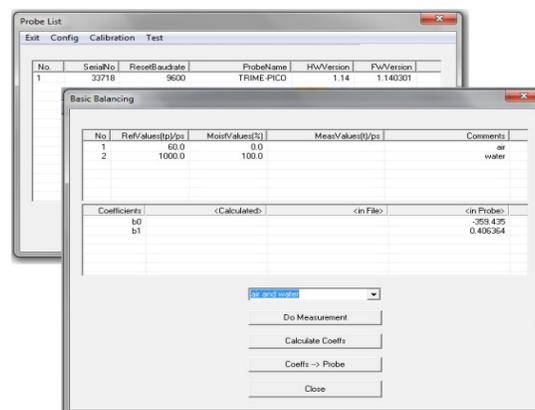


Figura 14: Interface inicial do software Pico-Config, com o número de registro do sensor e a janela do Balance Basic

Após a realização desta etapa, o sensor está pronto para o teste. Entretanto, devido a falta de precisão do equipamento, não é possível o aferimento de leituras em tempo real, ou seja, de segundo em segundo. Entretanto, com a utilização do SM-USB, é possível utilizar o instrumento com um tempo de apenas 4,5 segundos entre leituras (Figura 15).

No.	Time	Date	Count	ASICCount	ASICTemp	I	Ip	SdMtd	MatMtd	Measr	TDRLevel	MatTemp	RHC
1	14:45:05	19-12-2012	1408:311	1408:311	56.43	2365.916	601.987	601.9	39.425	39.420	77.930	25.2	0.630
2	14:45:08	19-12-2012	1407:470	1407:470	56.34	2364.932	601.413	601.4	39.239	39.230	77.780	25.2	0.630
3	14:44:56	19-12-2012	1406:742	1406:742	55.89	2363.279	600.916	600.9	39.259	39.250	77.630	25.2	0.660
4	14:44:51	19-12-2012	1407:084	1407:084	55.40	2363.854	601.149	601.1	39.299	39.290	77.680	25.1	0.660
5	14:44:47	19-12-2012	1404:962	1404:962	54.01	2360.320	599.701	599.7	39.074	39.070	77.430	25.0	0.690
6	14:44:42	19-12-2012	1405:035	1405:035	54.42	2361.756	600.297	600.2	39.164	39.160	77.500	25.1	0.690
7	14:44:38	19-12-2012	1406:396	1406:396	54.03	2361.033	599.957	599.9	39.119	39.110	77.430	25.0	0.690
8	14:44:33	19-12-2012	1405:596	1405:596	53.54	2361.354	600.134	600.1	39.129	39.130	77.500	25.0	0.690
9	14:44:29	19-12-2012	1407:017	1407:017	52.86	2351.741	601.104	601.1	39.289	39.290	77.630	25.0	0.660
10	14:44:24	19-12-2012	1403:440	1403:440	52.03	2357.732	598.662	598.6	38.919	38.910	77.200	25.1	0.720
11	14:44:20	19-12-2012	1401:138	1401:138	51.15	2353.885	600.001	600.0	38.695	38.690	77.000	25.1	0.750
12	14:44:15	19-12-2012	1402:820	1402:820	49.88	2356.691	598.239	598.2	38.854	38.850	77.100	25.1	0.740

Figura 15: Interface de aquisição de dados do software Pico-Config

3.9. Tensiômetros

Os tensiômetros são sensores que possuem em seu conjunto, o corpo físico que envolve o transdutor de pressão e uma haste de acrílico com uma pedra porosa na ponta, às quais devem estar saturados. Ao passo que o solo seca o sistema perde água, aplicando um vácuo no interior do tubo equivalente. Com a saturação do material, o teor de água no solo aumenta, aumentando a tensão de água no solo e reduzindo o vácuo no interior do tubo equivalente (EMBRAPA, 1999). A variação do vácuo no tubo equivalente ocasiona variações nas medidas provenientes do sistema, uma vez que o transdutor de pressão responderá a esses estímulos.

Os tensiômetros UMS T5X (Figura 16) foram utilizados para medição da tensão de água no solo e respectivamente o potencial matricial. Estes tensiômetros trabalham a partir de 100 kPa (tensão de água) e tem como limite o valor de -160 kPa (sucção) (UMS, 2009). A sensibilidade medida do sensor é da ordem de 0,064kPa.

A instalação seguiu os padrões recomendados no manual, garantindo a saturação com água deaerada da pedra porosa situada na ponta da haste de 10 cm

do instrumento, mantendo o mesmo em perfeito funcionamento ao longo dos ensaios.

Cabe ressaltar que, para a instalação das sondas, foi necessário efetuar o furo com 5 mm de diâmetro com material adequado (mini trado e gabarito), assim como o envolvimento da pedra porosa com a pasta de revestimento confeccionada com o próprio solo da amostra.

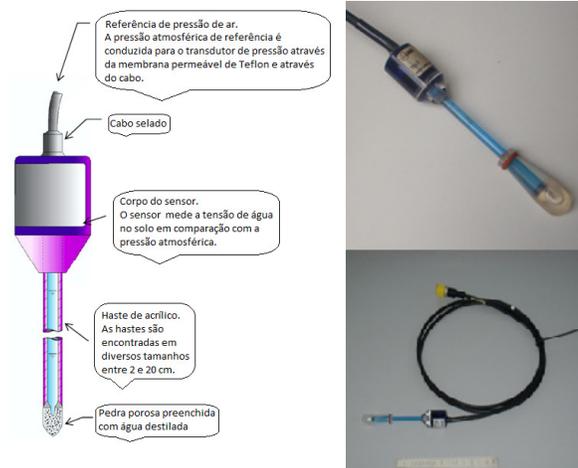


Figura 16: Detalhes e informações do tensiômetros T5X

3.10. Sistema de Aquisição de Dados

O Sistema de Aquisição de Dados utilizados para os tensiômetros T5X é o DL2e Data Logger, fabricado pela Delta-T Instruments (Figura 17). O equipamento possui a disponibilidade de até 64 canais para a conexão de sensores, permitindo a aferição de dados a partir do intervalo de 1 segundo.



Figura 17: DL2e Data Logger, fabricado pela Delta-T Instruments

Contudo, para que fosse possível conectar os tensiômetros, foi necessário o acoplamento do TV-Batt (Figura 18). O sistema funciona como um condicionador de voltagem, no intervalo solicitado pelos T5X (-5 VDC até +5 VDC), para até 15 tensiômetros.



Figura 18: Condicionador de voltagem TV-Batt

O Sistema de Aquisição de Dados é conectado ao computador através de uma porta serial RS232 e tem como software o DL2 Control Panel (Figura 19), onde é possível visualizar os sensores, realizar as e adquirir os dados.

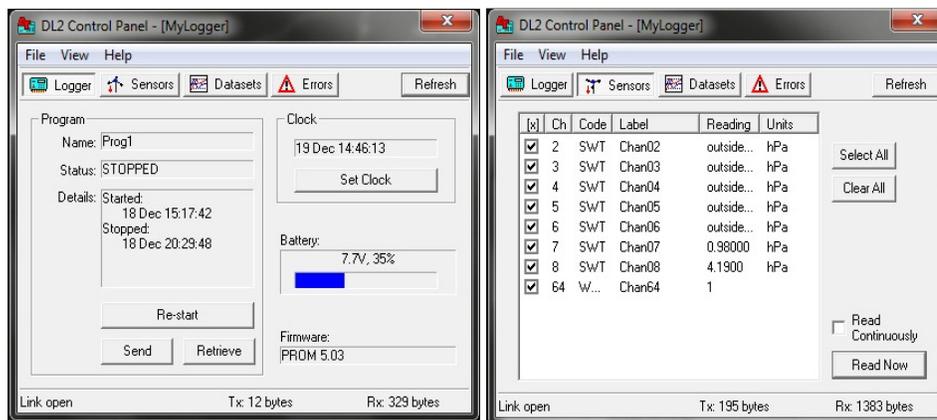


Figura 19: Painel controle do software Ecoutil mostrando o nome do programa que está sendo executado, o status e os detalhes de início e fim do processo de aquisição assim como os detalhes dos sensores programados e habilitados para a execução dos ensaios

3.11. Acelerômetros

A vibração é um fenômeno dinâmico observado como um movimento para frente e para trás, em relação a uma posição em equilíbrio. Estes movimentos podem ser relacionados matematicamente ao domínio do tempo e da frequência através da Transformada de Fourier.

Os acelerômetros piezoelétricos medem aceleração. Esse sinal pode ser eletronicamente integrado uma vez para fornecer o sinal de velocidade, e em uma segunda vez para fornecer o deslocamento como resposta. Contudo, quando sinais complexos, como ondas de choque e impulsos, são medidos, a integração não deve ser usada, pois induz ao erro de fase, resultando em sérios erros de amplitudes (Brüel & Kjaer, 1987).

O formato do acelerômetro usado é o acelerômetro de cisalhamento em delta. Para esse tipo de acelerômetro três elementos piezoelétricos e três massas sísmicas são dispostas em uma configuração triangular em volta de uma coluna (também triangular). Conforme a haste vibra, os elementos piezoelétricos reagem, fornecendo um sinal de saída em mV, referente à aceleração (Figura 20 e Figura 21).

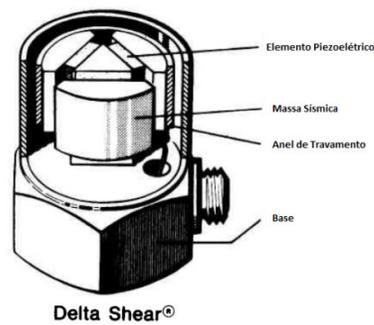


Figura 20: Esquema do acelerômetro de cisalhamento em delta (Brüel & Kjaer, 1987)



Figura 21: Imagem do acelerômetro de cisalhamento em delta (Brüel & Kjaer, 1987)

A carta de calibração dos acelerômetros (Figura 22) indica a sensibilidade de voltagem em função da aceleração e da força G. Para os ensaios da presente dissertação, as voltagens adquiridas nas leituras, com o auxílio do osciloscópio,

foram multiplicadas pelo parâmetro de sensibilidade de cada acelerômetro, fornecendo assim o valor correto em função de G.

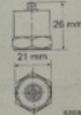
Brüel & Kjær	
Calibration Chart for Accelerometer Type 4370	
Serial No. <u>1126980</u>	Naarum Denmark
Reference Sensitivity at 50 Hz, 100 ms ⁻² and _____ °C	<u>25</u>
Charge Sensitivity* <u>10.14</u> pC/ms ⁻² or <u>99.5</u> pC/g	
Voltage Sensitivity* (incl. AO 0038) <u>8.01</u> mV/ms ⁻² or <u>78.6</u> mV/g	
(Voltage Preamp. Input Capacitance: 3.5 pF)	
Capacitance (incl. cable) <u>1266</u> pF	
Capacitance of Extension Cable AO 0038 <u>109</u> pF	
Maximum Transverse Sensitivity (at 30 Hz, 100 ms ⁻²) <u>2.1</u> %	
Typical Undamped Natural Frequency _____ 25 kHz	
Typical Transverse Resonance Frequency, using Calibration Exciter 4290, with accelerometer mounted on a titanium cube by a 10 - 32 UNF-2A steel stud, mounting torque 1.8 Nm and grased surfaces: _____ 4 kHz	
Polarity is positive on the center of the connector for an acceleration directed from the mounting surface into the body of the accelerometer	
Resistance minimum 20,000 MΩ at room temperature	
Date <u>8.V.95.30</u> Signature <u>JA</u>	
1 g = 9.807 ms ⁻² or 10 ms ⁻² = 1.02 g	
* This calibration is traceable to the National Bureau of Standards, Washington D.C.	
8C 0100	
Environmental: Humidity: Welded, Sealed Temperature Range: -74 to +250°C (-100 to +482°F) Max. Shock Acceleration: 20 km/s ² peak Typical Magnetic Sensitivity (50 Hz - 0.03 T): 1.2 ms ⁻² /T Typical Acoustic Sensitivity: 0.001 ms ⁻² at 154 dB SPL (2 - 100 Hz) Typical Base Strain Sensitivity (at 250 μm in base plate): 0.003 ms ⁻² /μm Typical Temperature Transient Sensitivity (3 Hz LLF): 0.08 ms ⁻² /°C Specifications obtained in accordance with ANSI S2.11-1969	
Physical:  Electrical Connector: Coaxial 10 - 32 UNF-2A Material: Stainless Steel, AISI 316 Piezoelectric Material: PZ23 Weight: 54 gram Construction: Delta Shear Mounting Thread: 10 - 32 UNF-2B Mounting Stud: 10 - 32 UNF-2A x13 mm, steel Mounting Surface Flatness: <3 μm Mounting Torque: Normal 1.8 Nm, Min. 0.5 Nm, Max. 3.5 Nm Seismic Mass: 25 gram Center of Gravity of Seismic Mass: 12.3 mm from mounting surface on central axis Center of Gravity of Accelerometer: 9.7 mm from mounting surface on central axis For further information see B & K "Piezoelectric Accelerometer and Preamplifier" handbook	
Pat. DK 131401	

Figura 22: Carta de calibração dos acelerômetros

3.12. Osciloscópio

A aquisição de dados dos acelerômetros necessitou do uso do osciloscópio da Agilent, modelo MSO-X 2024A, de 200 MHz e 4 canais analógicos (Figura 23). Os sinais adquiridos com os acelerômetros foram dispostos através de arquivos numéricos, separados por vírgulas, necessitando de conversão para que houvesse uma melhor trabalhabilidade no Excel.



Figura 23: Osciloscópio Agilent, modelo MSO-X 2024A

3.13. Audacity – Construindo as formas de onda

A etapa inicial buscou a replicação das formas de onda desenvolvidas por Lee (2008). Para isso o software Audacity foi de extrema relevância, pois através do uso da ferramenta de desenho, foi possível fabricar ponto-a-ponto, a forma de onda utilizada nos ensaios.

Cabe ressaltar que através do uso do software empregado, chegou-se somente às formas de onda aproximadas. Este fato ocorre, pois a ferramenta de desenho só é habilitada para o uso em pequenos trechos, não possibilitando a construção de um trecho de maiores dimensões.

Na Figura 24 observa-se as etapas de construção de um clap. Neste momento, ressalta-se que a alteração da forma de onda só é possível no momento em que a escala se encontra bastante reduzida, apresentando as marcações pontuais. Nesse momento, a ferramenta de desenho, destacada em verde, é habilitada para uso.

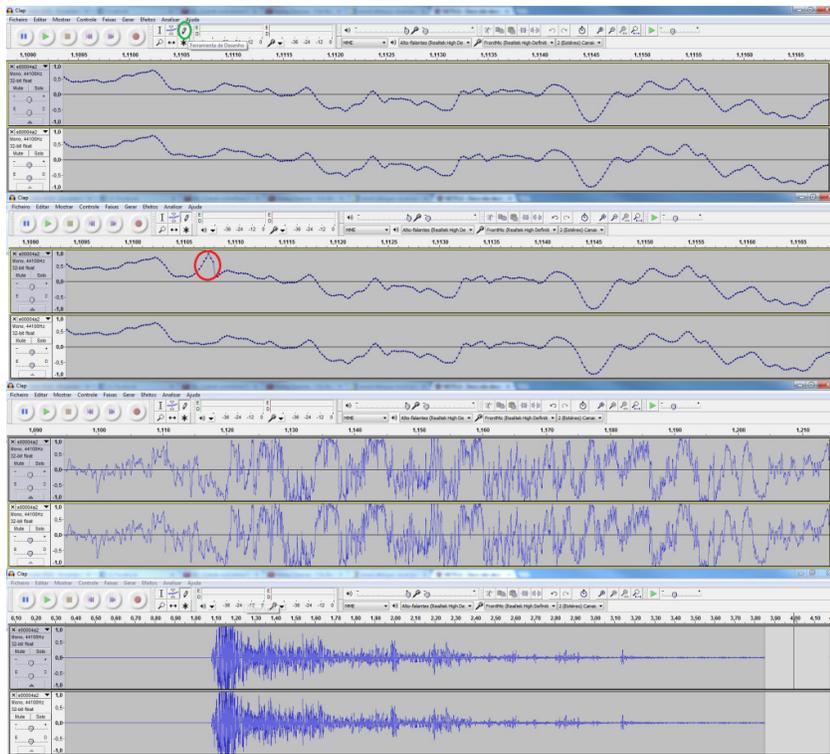


Figura 24: Construção do Clap através do uso do software Audacity