

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DINAMÔMETRO PARA MOTORES DE
AEROMODELOS

Claudio Sakai Koseki

São Paulo

2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DINAMÔMETRO PARA MOTORES DE
AEROMODELOS

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Graduação em Engenharia

Claudio Sakai Koseki

Orientador: Prof. Dr. Roberto Martins de Souza

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Koseki, Claudio Sakai

Projeto e construção de um dinamômetro para motores de aeromodelos / C.S. Koseki. – São Paulo, 2010.

72 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Dinamômetros 2.Motores de combustão interna I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

A minha família, meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS:

Ao professor Roberto Martins de Souza, pela orientação neste trabalho.

A professora Izabel Fernanda Machado, por gentilmente ceder o equipamento de aquisição de dados para os ensaios.

Ao Msc. Eng. Newton Kiyoshi Fukumasu – capitão da equipe Poli Aclive Open, pela orientação e ajuda no trabalho.

Ao mestrando Enio Yamamotu Ferreira Soares pelas ajudas tanto nos ensaios do motor, quanto no projeto em si.

A equipe Poli Aclive de Aerodesign.

Aos técnicos: Carlos, Douglas Silva, Fidel, Francisco Faustino, Tiago Camponucci e Wellington Ramos, pelo auxílio na construção das células de carga e construções mecânicas.

Aos técnicos e aos membros do LFS – Laboratório de Fenômeno de Superfícies.

A minha família, amigos e colegas, pelo incentivo e pela ajuda nos momentos difíceis e pelas comemorações a cada etapa concluída. E em especial ao meu pai, por solicitar a confecção dos blocos para as células e da bancada de ensaio.

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto e a construção de um dinamômetro para motores de aeromodelos, utilizados pela equipe PoliAclive de aerodelismo e que compete na categoria Open da “SAE Aerodesign”.

Nesta categoria, o regulamento permite a modificação do motor, seja pela adição de algum dispositivo, seja pela modificação dos componentes internos. A equipe deseja modificar componentes, seja pela técnica de micro-texturização, seja pela aplicação de filmes finos.

Para analisar o efeito destas modificações, serão necessários o projeto e a construção de um dinamômetro. O trabalho abrangeu todas as etapas, desde a concepção até a construção. Dos itens constituintes do dinamômetro, construíram-se duas células de carga e uma bancada em aço, para apoiar as células e o motor.

O motor ensaiado foi um motor fabricado pela empresa OS Engines, modelo 0.61FX, utilizado em aeromodelos. Trata-se de um motor monocilindro de dois tempos, movido com uma mistura de metanol, nitrometano e óleo lubrificante.

Para os ensaios, pela não disponibilidade dos componentes modificados, variou-se as hélices e os combustíveis utilizados. Foram ao todo 8 ensaios, combinando-se as 2 hélices com os 2 combustíveis e em 2 configurações de montagem do motor – uma visando obtenção de valores de tração e a outra de torque.

Os resultados obtidos não foram quantitativos e sim qualitativos, ou seja, apenas comparou-se o funcionamento do motor, variando-se hélices e combustíveis.

Após os ensaios, conclui-se que o dinamômetro atendeu a este objetivo e capturou diferenças nos valores de torque e tração, ao se variar combustíveis e hélices.

Palavras chaves: aeromodelos, dinamômetros, motor de combustão interna.

ABSTRACT

This dissertation presents the design and construction of a dynamometer for model aircraft engines that are used by PoliActive Team, which competes at the Open Class of SAE Aerodesign Competition.

In this category, the rules allow the teams to modify the engines of the model airplanes by adding new components or modifying the original ones. The team wants to modify the components, by using the “Laser Surface Texturing” and coating the internal parts with thin-films.

To analyze the effects of these modifications, it is necessary to design and construct a dynamometer. This work includes all the steps, from the conception to the construction of the dynamometer. Among all the items that constitutes a dynamometer, two load cells and a bench-like structure, were manufactured during this work.

The tested engine was built by OS Engines, model 0.61FX, used in model airplanes. It is a mono-cylinder, two-strokes engine that runs with a mixture of methanol, nitromethane and lubricant.

As the modified components were not available by the time of the tests, the propellers and the fuels were exchanged. Eight tests were conducted, combining 2 propellers, 2 fuels and 2 engine mounting configurations. One configuration was used to obtain the torque and the other the thrust.

The obtained results were not quantitative, but qualitative, i.e. the engine operation was compared varying the propellers and fuels.

After the tests, the results indicated that the dynamometer reached its objectives and was able to catch the torque and thrust differences, when varying the fuels and propellers.

Keywords: Dynamometer, internal-combustion engines, model aircrafts.

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	1
Lista de Tabelas.....	3
1. Introdução	4
2. Revisão bibliográfica:	6
2.1. Potências dos motores de combustão interna.	6
2.2. Dinamômetros.	8
3. DESENVOLVIMENTO DO DINAMÔMETRO:.....	10
3.1 O motor:	10
3.2. Projeto e construção do dinamômetro.....	10
3.3. Projeto do dinamômetro.....	12
4. Ensaios	25
4.1. Teste da bancada.	25
4.2. Metodologia de ensaio do motor:.....	26
5. Conclusão:	43
6. Bibliografia:	45
7. Anexos:	46
7.1. Procedimento da construção da célula de carga.	46
7.2. Relatórios de ensaios gerados pelo programa AqdAnalysis.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do dinamômetro existente.....	8
Figura 2 - Configurações de utilização do dinamômetro. A utilização para a configuração 1 é a de obtenção da potência de atrito, da configuração 2, obtenção do torque do motor e a configuração 3, obtenção da tração do grupo moto-propulsor. .	11
Figura 3 - Desenho da primeira peça de alumínio da célula de carga. Medidas em milímetros.	12
Figura 4 - Strain gage colado ao bloco de alumínio.....	13
Figura 5 – 1ª célula de carga - bloco de alumínio + strain gage + cabo.....	13
Figura 6 - Sistema de aquisição.	14
Figura 7 - Modelo computacional da célula reprojeta.....	16
Figura 8 – Deformações principais na célula ao se aplicar as forças.....	16
Figura 9 – Tensão de Von Mises (em MPa) na célula ao se aplicarem as forças.	17
Figura 10 - Desenho final da peça de alumínio da célula de carga.....	17
Figura 11 – Bloco da célula de carga final.....	18
Figura 12 - Gráfico do resultado do ensaio 1.....	19
Figura 13 - Gráfico do resultado do ensaio 2.....	20
Figura 14 - Gráfico do resultado do ensaio 3.....	22
Figura 15 - Dinamômetro antigo de balança.....	23
Figura 16- Esboço da estrutura da bancada. Medidas em milímetros.....	24
Figura 17 – A bancada montada na configuração de ensaio.....	25
Figura 18 - Hélices utilizadas - 13/5 (acima) e a 13/8 (abaixo).....	27
Figura 19 - Combustíveis utilizados – a direita, o combustível 1 e a esquerda o combustível 2.	27
Figura 20 - Gráfico do resultado do ensaio 1 da primeira série de ensaios.	28
Figura 21 - Gráfico do ensaio nº 1, na configuração 2, hélice 1 e combustível 1.....	30
Figura 22 - Gráfico do ensaio nº 2, na configuração 2, hélice 2 e combustível 1.....	31
Figura 23 - Gráfico do ensaio nº3, na configuração 2, hélice 2 e combustível 2.	32
Figura 24 - Gráfico do ensaio nº4, na configuração 2, hélice 1 e combustível 2.	33
Figura 25 - Bancada na configuração 3.....	35
Figura 26 - Esquema da calibração das células para a terceira série de ensaios.....	36
Figura 27 - Gráfico do resultado de ensaio motor 0.61FX, hélice 1, combustível 1.	37

Figura 28 - Gráfico do resultado de ensaio motor 0.61FX, hélice 2, combustível 1. 38

Figura 29 - Gráfico do resultado de ensaio motor 0.61FX, hélice 2, combustível 2. 39

Figura 30 - Gráfico do resultado de ensaio motor 0.61FX, hélice 1, combustível 2 . 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – exemplos de misturas de combustível.....	7
Tabela 2 - Dados dos motores a serem ensaiados	10
Tabela 3 - Dados do ensaio 1.	18
Tabela 4 - Dados do ensaio 2.	20
Tabela 5 - Dados do ensaio 3	21
Tabela 6 - Ensaios do motor.....	26
Tabela 7 - Síntese dos resultados da segunda série de ensaios.	34
Tabela 8 - Síntese dos resultados desta série de ensaios - corrigidos.	41
Tabela 9 - Resultados corrigidos da terceira série de ensaios.....	41
Tabela 10 - Síntese dos resultados da terceira série de ensaios.	41
Tabela 11 - Resultados finais compilados.....	44

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta o projeto e metodologia de construção de um novo dinamômetro com a finalidade de aferir os resultados de modificações em camisas de cilindro e anéis de pistão de motores de aeromodelos. Este projeto faz parte de uma série de projetos para a equipe Poli Aclive de Aerodesign. A equipe atualmente participa das competições da SAE-International (antiga Society of Automotive Engineers), entre elas a SAE-Brasil Aerodesign.

A equipe participará pela primeira vez na categoria Open em Outubro de 2010, na qual o regulamento permite alterações no motor, permitindo a utilização de componentes não-originais com o objetivo de aumentar o desempenho do mesmo. Na categoria anteriormente disputada, o motor é padrão para todas as equipes, não sendo permitida qualquer alteração.

Atualmente existe um dinamômetro, que é baseado em uma balança comum e estrutura metálica, porém, este não atende plenamente aos novos requisitos, pela sensibilidade ser baixa, dependendo exclusivamente da menor escala da balança. Por isto, deseja-se projetar um novo dinamômetro, com maior precisão.

O motor em testes é um motor de aeromodelo de dois tempos, monocilindro, fabricados pela empresa japonesa OS Engines. Trata-se de um motor modelo 61FX de 0.61cu.in. – equivalente a um motor de 10cm³.

Para que haja um aumento do desempenho, deseja-se alterar alguns componentes móveis desses motores, de modo que haja redução do atrito entre estas partes móveis, sem que haja uso de outros lubrificantes. A idéia é a utilização de filmes finos nestes componentes, de modo a se reduzir o atrito entre as partes móveis. Em outras palavras, deseja-se reduzir a potência de atrito do motor, apenas alterando-se os componentes do motor.

Além disso, deseja-se utilizar deste dinamômetro para a aferição de desempenho do motor, para se extrair o empuxo do conjunto moto-propulsor (motor + hélice). Este dado é importante como parâmetro de projeto.

Neste trabalho, o objetivo será apenas a construção do dinamômetro para se comparar parâmetros de funcionamento, sendo assim, a obtenção de resultados numéricos exatos não é de escopo desse trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

2.1. Potências dos motores de combustão interna.

De acordo com Garcia e Brunetti [1] a potência dos motores de combustão interna é dividida basicamente em quatro subtipos:

- 1- Potência teórica (P_t) – considera-se que todo o calor produzido por uma determinada quantidade de combustível seja convertido em energia mecânica.
- 2- Potência indicada (P_i) – é a potência do ciclo termodinâmico, consideradas as perdas termodinâmicas.
- 3- Potência efetiva (P_e) – é a potência efetivamente aplicada ao fluido de trabalho.
- 4- Potência de atrito (P_a) – potência utilizada para vencer o atrito entre as partes móveis do motor.

A relação entre as potências é dada pelas seguintes relações:

$$P_i = P_e + P_a \quad (1)$$

$$P_t = P_i * \eta_m * \eta_t \quad (2)$$

onde η_m é o rendimento mecânico e η_t o rendimento térmico.

O objetivo dos lubrificantes no motor, entre outros, é o de reduzir o atrito entre as partes móveis, de modo a facilitar o funcionamento do motor, ou seja, sua função é a de reduzir a potência de atrito, aumentando a potência indicada, que é a potência útil do motor. Assim, espera-se que com o mesmo consumo, mesmas características geométricas e de operação do motor (exemplo, formação de mistura ar-combustível, admissão de ar e de mistura do motor), haja aumento da potência e consequente melhora do desempenho da aeronave.

Há a possibilidade da redução ou mesmo eliminação da adição de lubrificantes ao combustível. O combustível utilizado por estes motores é constituído de uma mistura de nitro-metano com metanol e óleo de rícino. A mistura pode variar. Algumas das misturas oferecidas por uma das maiores fabricantes deste combustível são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – exemplos de misturas de combustível

	Nitrometano (%)	Metanol (%)	Óleo (%)
Aero Gen2 FAI	0	82	18
Aero Gen2 Standard	5	79	16
Aero Gen2 Traditional	5	75	20
Aero Gen2 Premium 18	5	77	18
Aero Gen2 Super Tigre	10	80	10
Aero Gen2 Standard	10	74	16
Aero Gen2 Traditional	10	70	20
Aero Gen2 Premium 18	10	72	18
Aero Gen2 4-Cycle	10	74	16
Aero Gen2 Standard	15	69	16
Aero Gen2 Traditional	15	65	20
Aero Gen2 4-Cycle	15	69	16
Aero Gen2 Premium 18	15	67	18
Race 1600 Gen2	12	68	20
Race 2000 Gen2	20	68	12
Race 2500 Gen2	25	64	11
Race 3000 Gen2	30	59	11

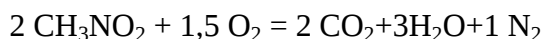
Fonte: Byron Fuels [2]

O combustível atualmente utilizado pela equipe é o Aero Gen2 Standard com 10% de nitro-metano e o Race 2000 Gen2.

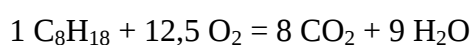
O nitro-metano (CH_3NO_2) é conhecido pela sua aplicação em motores de competição, como por exemplo, dos carros de arrancada – os dragsters. Este combustível possui menor poder calorífico em comparação à gasolina– da ordem de 11700kJ/kg, contra 43000kJ/kg da gasolina. Porém, requer menor quantidade de ar para ser queimado, em relação à gasolina. Logo, pode-se adicionar mais combustível na câmara de combustão se comparado com a gasolina. A adição de lubrificante pode ser considerada uma contaminação deste e há uma redução do poder calorífico, uma vez que o do lubrificante é menor e, por vezes, o mesmo é expelido pelo sistema de exaustão.

A característica do nitro-metano, com relação a combustão é o fato de haver uma auto-alimentação de oxigênio durante a combustão. Além disso, a quantidade em massa de oxigênio necessária para a queima de um quilograma de nitro-metano é 8,6 vezes menor que o da gasolina.[3]

A equação de queima do nitrometano é a seguinte:



A equação da queima do octano – um dos componentes da gasolina é:



Assim, utilizando-se um combustível com menor teor de lubrificante, há um incremento da potência efetiva, já que esta é diretamente ligada ao poder calorífico do combustível.

2.2. Dinamômetros.

A equipe hoje dispõe de um dinamômetro, com estrutura em “L”, com uma articulação no encontro das duas barras e que tem em uma das extremidades, o motor instalado e na outra, um apoio para a balança. Esta balança é empregada em avaliação de tração de grupos moto-propulsores e foi construída de modo empírico. (Figura 1).

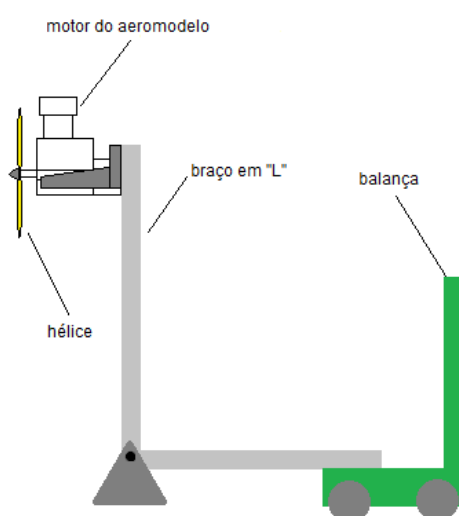


Figura 1 - Esquema do dinamômetro existente.

A equipe estudou formas de avaliação do motor, como por exemplo, em dinamômetros alugados ou a construção de um dinamômetro próprio.

Anteriormente a este trabalho, houve estudos de dinamômetros para outras aplicações, como no caso da equipe de Mini Baja da Poli-USP, que projetou um baseado em correntes parasitas.[4]

3. DESENVOLVIMENTO DO DINAMÔMETRO:

3.1. O motor:

O motor ensaiado foi o OS Engine 0.61FX, monocilindro de dois tempos. A capacidade cúbica é 0,61 cu.in ou 9,95cm³. O combustível constitui-se de uma mistura de metanol, nitro-metano e óleo lubrificante (no geral, óleo de rícino).

A Tabela 2 contém os dados do motor testado.

Tabela 2 - Dados dos motores a serem ensaiados

Motor OS Engines 0.61FX	
Cilindrada (cu.in)	0.607
Cilindrada (cm ³)	9,95
Faixa de operação (RPM)	2000-17000
Potência declarada pelo fabricante (HP)	1,90 @ 16000RPM
Diâmetro (mm)	24,0
Curso (mm)	22,0

Fonte: OS Engines [5].

3.2. Projeto e construção do dinamômetro.

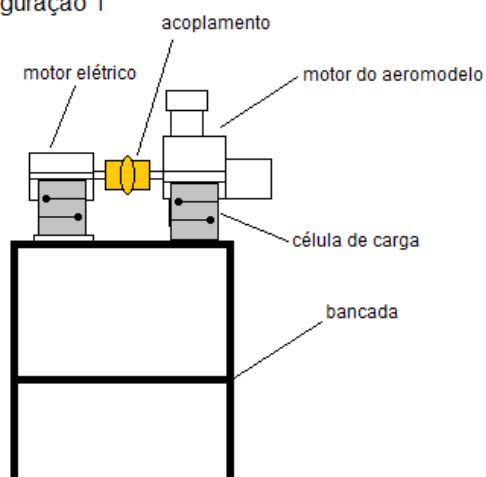
A fim de aferir o desempenho do motor, projetou-se um dinamômetro acionado por motor elétrico. Este dinamômetro é constituído por quatro células de carga, na configuração 1 ou por duas células de carga nas configurações 2 e 3 (Figura 1). Em todas estas, elas são apoiadas em uma base rígida o suficiente para não sofrer os efeitos das tensões aplicadas pelo motor.

Os cálculos preliminares para determinação dos parâmetros de projeto são:

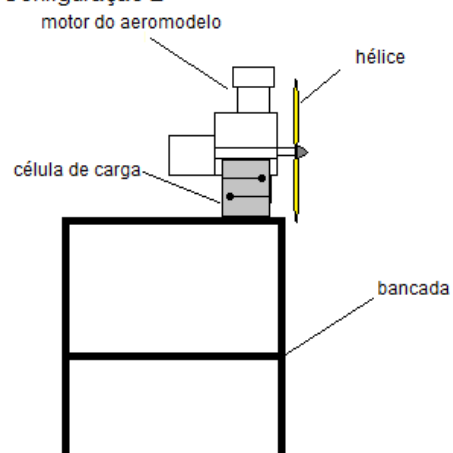
- Potência do motor (P): 1,9 HP = 1417,4 W.
- Rotação de operação (n): 15000 RPM = 39,79 rad/s
- Torque calculado do motor (T): $T=P/n = 35,63\text{Nm}$

Além disso, é desejável que o dinamômetro opere tanto para extração de potência de atrito quanto para extração do empuxo com a hélice acoplada. Para isto, o motor teve sua posição invertida em relação a posição de obtenção de potência de atrito, de acordo com a Figura 2:

Configuração 1



Configuração 2



Configuração 3

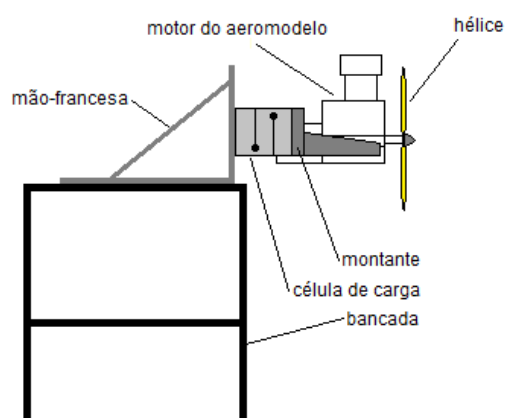


Figura 2 - Configurações de utilização do dinamômetro. A utilização para a configuração 1 é a de obtenção da potência de atrito, da configuração 2, obtenção do torque do motor e a configuração 3, obtenção da tração do grupo moto-propulsor.

3.3. Projeto do dinamômetro.

3.3.1. Célula de carga.

Para a medição das forças, confeccionou-se uma célula de carga em alumínio, com as seguintes dimensões aproximadas:

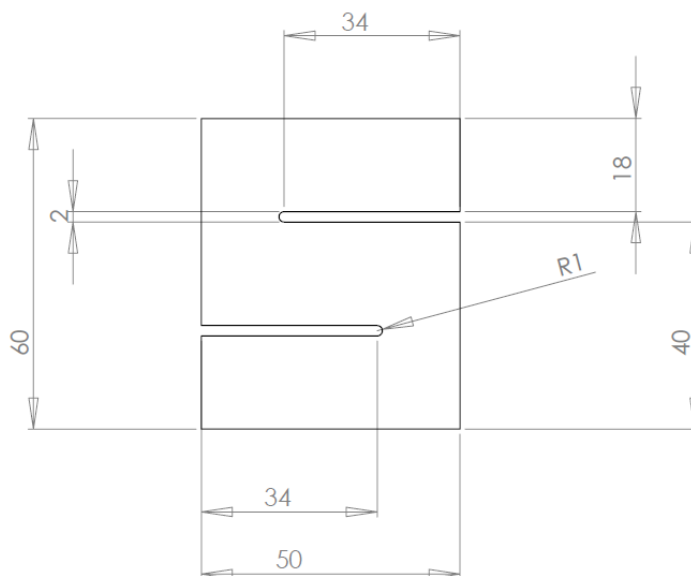


Figura 3 - Desenho da primeira peça de alumínio da célula de carga. Medidas em milímetros.

Este formato foi escolhido pelo fato das deformações calculadas nos lados opostos as aberturas (as fendas no bloco de alumínio) atingirem valores bastante pequenos para o motor ensaiado. Assim, diminuindo-se o tamanho da área resistente e transformando o bloco de alumínio numa célula de carga tipo “Z” as deformações aplicadas ao material são maiores, sem correr o risco do strain gage (extensômetro) não a detectar.

A célula experimental foi construída na própria oficina da Engenharia Mecatrônica, a fim de se evitar prazos de empresas externas e também, a fim de haver maior contato com projeto e construções mecânicas.

Como forma de avaliar as deformações produzidas pelas forças e momentos aplicados na célula de carga, realizou-se uma simulação em elementos finitos utilizando o software ABAQUS. A simulação utilizou-se das seguintes condições:

- Esforço considerado: carregamento distribuído sobre a célula com total de 44,7N

- Material: alumínio com coeficiente de Poisson de 0,33 e Tensão de escoamento de 110 MPa e módulo de elasticidade de 73GPa.

As deformações obtidas na simulação foram bastante reduzidas, da ordem de centésimos de micrometros.

Com este estudo concluído, escolheram-se os locais para posicionamento dos strain gages e também qual a máxima deformação que estes estariam sujeitos, de forma a escolher qual o strain gage mais adequado para o estudo.

Um strain gage da marca Kyowa modelo KFG-5-120-C1- foi colado ao bloco de alumínio de forma a se avaliar as deformações produzidas pelas cargas. (Figura 4)



Figura 4 - Strain gage colado ao bloco de alumínio.



Figura 5 – 1ª célula de carga - bloco de alumínio + strain gage + cabo.

Para esta avaliação, utilizou-se de um aquisitor de dados modelo ADS2000 da marca Lynx Tecnologia, dotado do módulo AD2161 conectado a um computador. (Figura 6) Além disso, utilizou-se o software AQDados 7.0.2 para a aquisição dos sinais.



Figura 6 - Sistema de aquisição.

A calibração foi bem simples, consistindo em apoiar massas conhecidas sobre a célula de carga. As massas totalizavam 4460g, foram medidas através de uma balança de precisão disponível no laboratório e eram feitas de chapas de aço carbono.

De início, percebeu-se um problema de ruído no sistema, além de haver um problema na calibragem. A deformação produzida pelas cargas eram muito pequenas, a ponto de não serem sequer detectadas.

Após a avaliação da célula de carga, realizaram-se as seguintes mudanças, em relação à geometria original:

- Furos alargados para 6 mm.

Resultado: A intensidade da deformação produzida pela carga não foi suficiente para que o aquisitor detectasse o sinal. Para se produzir um sinal possível de ser capturado pelo aquisitor, era necessária a aplicação de uma grande carga – por exemplo, uma pessoa média (aproximadamente 75 kg) subir na célula.

- Furos alargados para 8 mm.

Resultado: A deformação produzida ainda era bastante pequena, não sendo detectada. Porém, aplicando-se 100N, houve aquisição de dados, porém, a variação era da ordem de décimos de milivolt.

Calibrando-se o aquisitor, para que a carga capturada fosse de 44N, uma pequena variação no sinal – da ordem de décimo de milivolt, já fazia o software interpretar a carga como algo da ordem de centenas de Newtons, o que está longe de ser realidade.

- Furos alargados para 10,5 mm

Resultado: Houve captura de sinais produzidos pela carga de ensaio. Porém, o sinal era da ordem de décimos de milivolt e suspeitou-se inclusive da variação ser produzida por ruído no sinal. Ao se aumentar a carga, para 100N, o resultado mostrou-se mais satisfatório, inclusive com o sinal mais estável.

Recalibrando-se o aquisitor, a variação era menor, da ordem de 20-30 N, porém, não correspondia à realidade.

- Furos alargados para 12 mm

Resultado: A deformação produzida pela carga de 44N era capturada pelo aquisitor de forma estável, porém, uma pequena variação no sinal já fazia a carga sair da realidade, ou seja, a célula capturava uma variação da ordem de dezenas de Newtons, quando na realidade variou-se apenas 2N. Alterou-se a calibragem de forma a capturar-se diretamente a deformação e não a carga aplicada. A deformação foi da ordem 30 micrometros. Foi realizada uma nova simulação utilizando-se o ABAQUS e a deformação teórica foi de 38 micrometros, o que corresponde a um erro de 26%, porém, de forma que os valores estavam relativamente próximos ao resultado obtido experimentalmente.

Este erro foi atribuído ao desconhecimento com relação às deformações que o strain-gage é capaz de detectar. Em conversa com o engenheiro Adriano Axel do IPT, este informou que as deformações usuais são da ordem de décimos de milímetros.

De posse desta informação, a célula foi redesenhada, novamente com auxílio do ABAQUS - de modo a se capturar deformações com carga de apenas 100g. Os resultados das simulações são mostrados nas Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

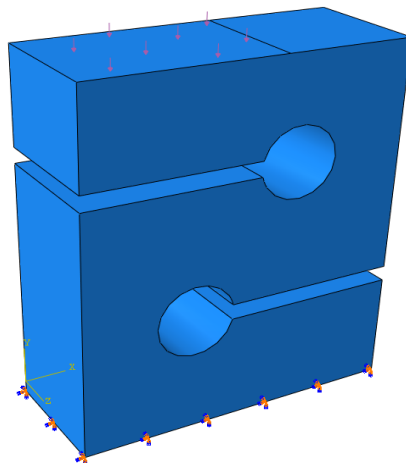


Figura 7 - Modelo computacional da célula reprojeta.

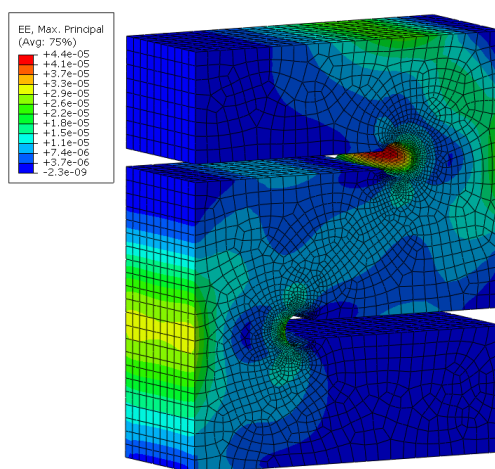


Figura 8 – Deformações principais na célula ao se aplicar as forças.

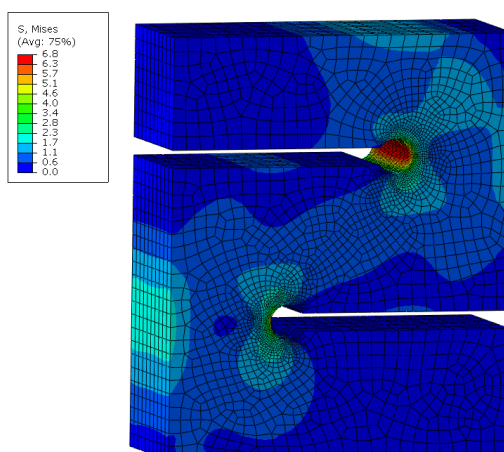


Figura 9 – Tensão de Von Mises (em MPa) na célula ao se aplicarem as forças.

As condições de ensaio são as mesmas do ensaio com o primeiro modelo de célula.

Para a construção, desta vez, adquiriu-se uma barra chata de alumínio AISI 6063 e a célula foi confeccionada em uma empresa terceirizada. O prazo para construção foi de apenas um dia. A Figura 10 apresenta o desenho da célula de carga e a Figura 11 apresenta uma foto da mesma.

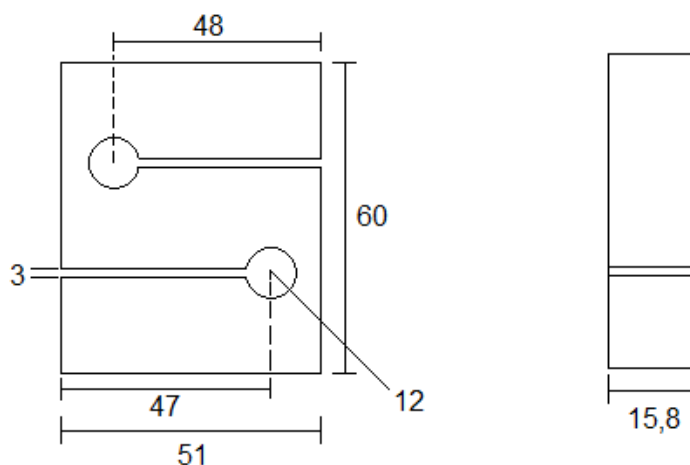


Figura 10 - Desenho final da peça de alumínio da célula de carga.



Figura 11 – Bloco da célula de carga final.

3.3.1.1 Ensaio da célula de carga.

A nova célula de carga foi submetida a três ensaios:

a) Cargas constantes em determinados intervalos de tempos.

Este ensaio consistiu no seguinte:

Adição de cargas conhecidas em intervalos de tempos intercalados e conhecidos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados do ensaio 1.

Intervalo de tempo (s)	Carga aplicada (N)
0-15	0
16-30	9,81
31-45	0
46-60	9,81
61-75	0
75-90	14,788
91-105	0
106-120	14,788
121-135	0
136-150	19,877
151-165	0
165-180	19,877
180-210	0

O objetivo do ensaio era o de verificar a acuidade das medidas, ou seja, se as medidas obtidas eram constantes, com o decorrer do tempo de ensaio.

A Figura 12 apresenta os resultados obtidos nesta etapa.

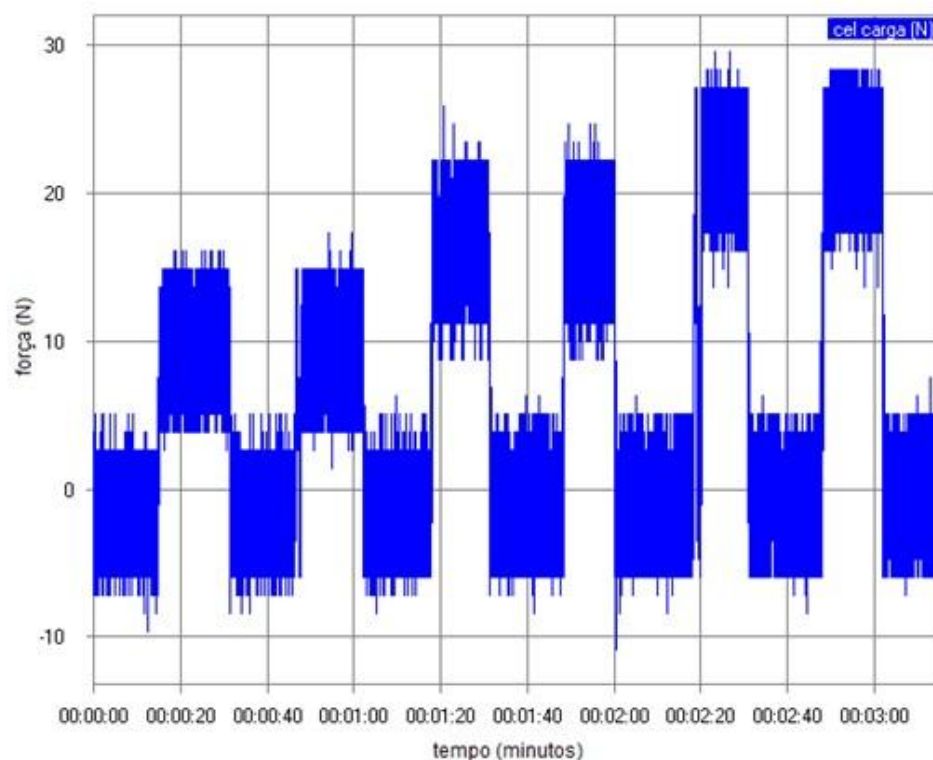


Figura 12 - Gráfico do resultado do ensaio 1.

b) Adição de carga ao longo do tempo.

Adicionaram-se cargas conhecidas ao longo do tempo, conforme apresentado na Tabela 4 com o objetivo de se avaliar a faixa linear de ensaio.

Até a adição das cargas conhecidas, a célula de carga trabalhou na zona linear de deformação, ou seja, deformações elásticas.

Tabela 4 - Dados do ensaio 2.

Intervalo de tempo (s)	Carga aplicada (N)
0-15	0
16-30	3,283
31-45	7,585
46-60	12,578
61-75	17,664
75-90	22,780
91-105	27,916
106-120	33,080
121-135	38,303
136-150	43,566
151-165	38,303
166-180	33,080
181-195	27,916
196-210	22,780
211-225	17,664
226-240	12,578
241-255	7,585
256-270	3,283
270-300	0

Os resultados desta etapa são apresentados na Figura 13.

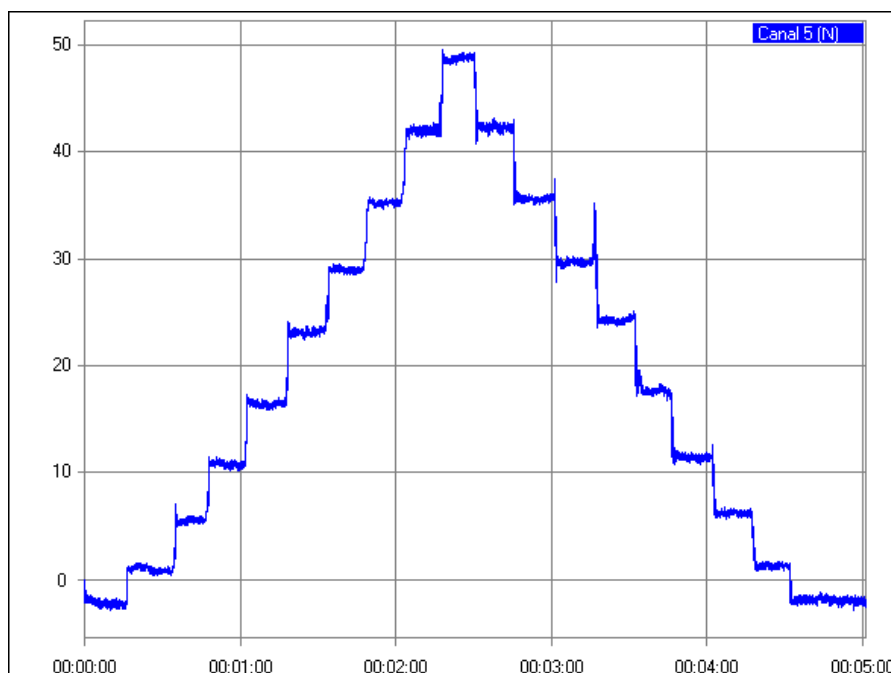


Figura 13 - Gráfico do resultado do ensaio 2.

Nos ensaios a partir desta etapa, houve aplicação de filtro passa-baixas para redução do ruído na aquisição dos dados.

c) Encontrar a zona de deformação plástica.

Aplicou-se a carga máxima de projeto – 10kg – à célula de carga. A metodologia foi semelhante ao ensaio 2, porém, partiu-se com carga de 22,298N, conforme indicado na Tabela 5. Além disso, a carga aplicada teve picos devido a colocação de anilhas sobre a célula ao invés de apenas as placas. Foi aplicada 1 anilha de 2275g e uma de 3300g (estimada), além das placas já conhecidas.

Tabela 5 - Dados do ensaio 3

Intervalo de tempo (s)	Carga aplicada (N)
0-15	22,298
16-30	54,638
31-45	62,223
46-60	67,216
61-75	72,302
75-90	77,418
91-105	82,554
106-120	87,718
121-135	92,941
136-150	98,204
151-165	92,941
166-180	87,718
181-195	82,554
196-210	77,418
211-225	72,302
226-240	67,216
241-255	62,223
256-270	54,638
270-300	22,298
301-315	3,283
316-330	0

Os resultados desta etapa são apresentados na Figura 14.

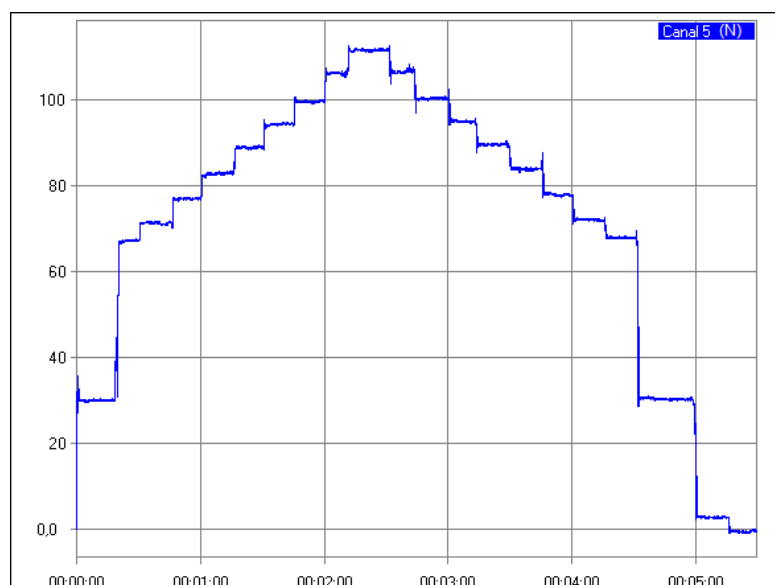


Figura 14 - Gráfico do resultado do ensaio 3.

Em todos os ensaios, os resultados obtidos foram ainda dentro da zona linear de deformação, ou seja, as deformações foram ainda na zona elástica. Ou seja, mesmo atingindo a carga de projeto, a célula teve deformações elásticas, fato confirmado pela medição das fendas/aberturas da célula de carga, que não sofreram alterações dimensionais, quando verificadas com um paquímetro.

3.3.2. Estudos do dinamômetro.

Cogitou-se três configurações de dinamômetros, conforme descrito na Figura 2:

- 1- Com o motor do avião, sem hélice, acionado e o motor elétrico atuando como freio. (Configuração 1)
- 2- Com o motor do avião, sem hélice, desacionado e o motor elétrico atuando como acionador. (Configuração 2)
- 3- O motor do avião acionado com a hélice atuando como carga ao motor. (Configuração 3)

Em conversa com o Prof. Francisco Nigro, observou-se que a configuração 2 é a mais usual para se extrair dados com relação a potência de atrito dos motores de combustão interna. Além disso, uma das hipóteses levantada pelo Prof. Nigro é de que a comparação entre as forças de atrito produzidas pelos componentes originais e

as produzidas pelos modificados, medidas através da configuração 1, requererá uma instrumentação de precisão.

O segundo caso é a pior condição de funcionamento do motor, sendo a lubrificação nula, o que aumenta a folga entre os componentes, apesar dos componentes estarem sem dilatação.

O motor elétrico, para a realização do ensaio, tem como pré-requisitos:

- 1- Fornecer uma rotação de pelo menos 15000 RPM, mesmo com carga.
- 2- Possuir torque de pelo menos 2 Nm.

Identificam-se dois motores candidatos para esta aplicação:

- Dremel Series 300 110V
- Motor elétrico 18V Old Style Drill Motor DeWalt.

A configuração 3 é a utilizada pela equipe do Aerodesign para se obter a tração que o conjunto moto-propulsor aplica a aeronave. Porém, há diferença na metodologia, já que o conjunto moto-propulsor é montado em uma estrutura semelhante a mostrada na Figura 15, baseada em um “L” de alumínio, com uma articulação e apoiada em uma balança.

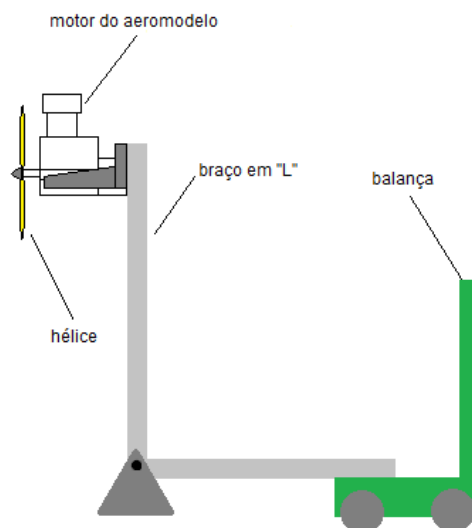


Figura 15 - Dinamômetro antigo de balança

Variando-se a hélice acoplada ao motor, há variações dos resultados obtidos, dados os diferentes passos e diâmetro das hélices, o que faz variar o empuxo e a força aplicada na balança.

As escolhas do capitão da equipe, por questões de tempo para a construção e de obtenção de resultados práticos foram as opções 2 e 3. Na verdade, a mesma bancada pode ser utilizada em ambas as configurações, bastando trocar os dispositivos de suporte do motor. Para montar-se a configuração 3, adicionam-se duas mãos francesas e o montante do motor.

Para apoiar as células, o motor e o acionamento, construiu-se uma bancada de modo a se montar o dinamômetro. A Figura 16 mostra o desenho da estrutura da bancada:

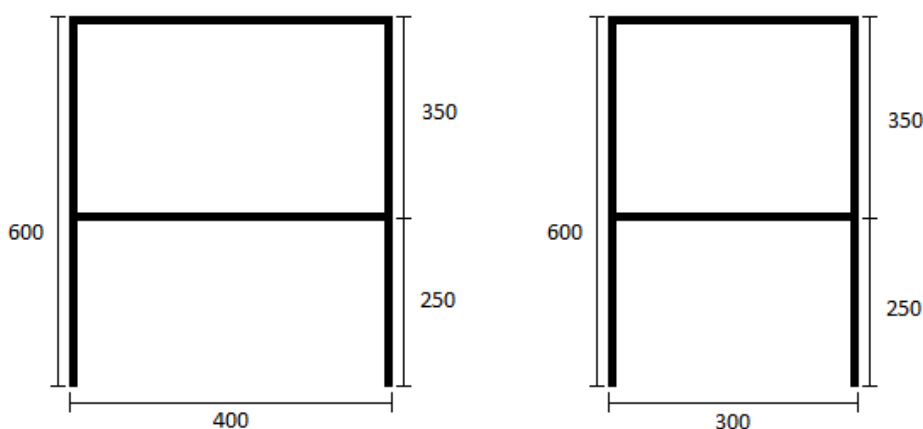


Figura 16- Esboço da estrutura da bancada. Medidas em milímetros.

É desejável que ela seja a mais rígida possível, de forma que as tensões aplicadas pelo motor não provoquem deformações ou que a bancada não absorva as deformações provocadas pelas tensões do motor, o que poderia mascarar os resultados da avaliação do motor. Além disso, como citado anteriormente, deseja-se que ela consiga ensaiar o motor, tanto no quesito potência de atrito como com a hélice acoplada, bastando apenas, inverter a posição do motor do aeromodelo.

4. ENSAIOS

4.1. Teste da bancada.

A princípio, antes das tomadas de dados, foi realizado um teste com a bancada e o motor acionado, com uma hélice acoplada. O objetivo deste ensaio foi comprovar que a bancada consegue suportar o motor acionado, sem que houvesse deformações, ou mesmo, alguma movimentação indesejada durante o funcionamento do motor.

Com o motor 0.61FX abastecido com combustível com 10% de nitrometano, a bancada e o dinamômetro suportaram ao teste, sem haver deformações plásticas nas células. Porém, durante o ensaio, percebeu-se que havia a tendência da bancada “capotar” pelo empuxo gerado pela hélice, sendo necessário que esta fosse estabilizada. A estabilização se deu pela aplicação de forças para segurar a bancada. No caso, um auxiliar segura a bancada enquanto o motor está acionado.

Não houve aquisição de dados, uma vez que a realização do teste foi em ambiente externo e não havia como deslocar o aquisitor de dados e o computador para o local do ensaio.

A Figura 17 mostra a bancada em configuração de teste.



Figura 17 – A bancada montada na configuração de ensaio

O reservatório de combustível foi colocado na posição inclinada por ser um padrão entre as equipes da Escola Politécnica (Keep Flying e PoliActive), após um estudo da primeira, no qual se observou uma redução na turbulência no reservatório, o que reduz a quantidade de bolhas no combustível.

4.2. Metodologia de ensaio do motor:

O motor foi ensaiado com hélice acoplada, porém, com o motor funcionando por meios próprios – alimentado com combustível. Variaram-se as hélices de modo a buscar uma hélice com maior torque – ou seja, uma otimização do conjunto hélice x motor. Foram tomadas as forças nos strain gages, com a bancada na configuração 2 e 3.

Por não ser possível a configuração de uma segunda porta de entrada do aqisitor, todos os ensaios foram realizados medindo-se a força em apenas uma das células de carga. Além disso, o objetivo dos ensaios são o de comparar e não a obter resultados numéricos dos motores.

4.2.1 Matriz de ensaios:

A matriz de ensaios está mostrada na tabela Tabela 6.

Tabela 6 - Ensaios do motor

Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Combustível 1	Combustível 1	Combustível 2	Combustível 2
Hélice 1	Hélice 2	Hélice 2	Hélice 1

4.2.2. Hélices:

A Figura 18 apresenta as hélices utilizadas nos ensaios.

Madeira 13/5 – hélice 1.

Madeira 13/8 – hélice 2.



Figura 18 - Hélices utilizadas - 13/5 (acima) e a 13/8 (abaixo)

4.2.3. Combustíveis:

A Figura 19 apresenta os dois recipientes com os combustíveis utilizados nos ensaios do motor.

Byron Premium Sports Standard – 10% de nitrometano, 74% de metanol e 16% de lubrificante – combustível 1.

Byron Race 2000 Gen2 – 20% de nitrometano, 68% de metanol e 12% de lubrificante – combustível 2.



Figura 19 - Combustíveis utilizados – a direita, o combustível 1 e a esquerda o combustível 2.

4.3. Primeiro ensaio (seguindo os parâmetros de ensaio nº 1):

Montou-se o motor 0.61 FX na bancada. O motor foi abastecido com o combustível 10% e montado com a hélice 1. Conectou-se o sistema ao sistema aquisitor e acionou-se do modo tradicional, a frio.

A operação do motor segue alguns procedimentos, como, após a alteração de combustível e/ou hélice, deve-se afinar o motor, de modo que ele produza a maior potência possível com esta combinação. No desacionamento, deve-se acelerar o motor ao máximo e estrangular a alimentação de combustível. A aceleração máxima visa consumir todo o combustível remanescente na linha de alimentação. Estes procedimentos foram adotados em todos os ensaios.

O motor rodou por cerca de 10 segundos em baixa rotação e posteriormente aumentou-se a aceleração do motor, até a máxima possível. Verificou-se que a bancada tinha tendência de se mover, não só pelo empuxo, mas também por possivelmente pela excitação de alguma frequência natural de vibração, já que verificou-se vibrações mais intensas em determinadas faixas de operação.

O gráfico de forças do ensaio 1 é apresentado na Figura 20:

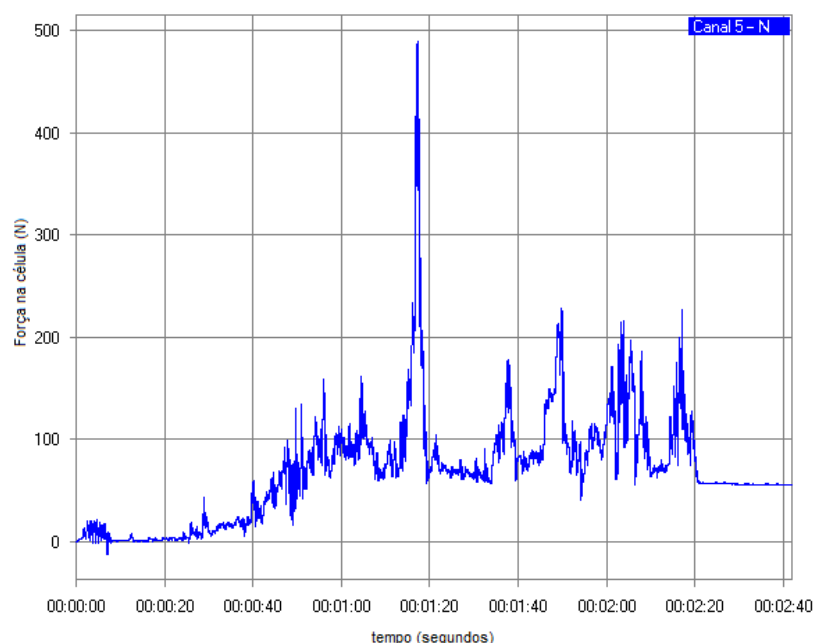


Figura 20 - Gráfico do resultado do ensaio 1 da primeira série de ensaios.

Observa-se que por volta dos 1min15 o início de um grande pico de força, da ordem de 30N. Além disso, observa-se que após o desacionamento do motor houve uma tensão residual que no ensaio foi por volta de 5,6N.

De início, imaginou-se que houve deformação plástica na célula de carga. Medindo-se com um paquímetro a abertura das células, verificou-se que não houve deformações a ponto de serem detectadas pelo paquímetro – ou seja, da ordem de centésimos de milímetros.

Assim, cogita-se que o pico de força danificou o strain gage e as medidas ficaram prejudicadas.

4.4. Segunda série de ensaios.

As células de cargas foram aferidas novamente, através da colocação de massas conhecidas, percebeu-se que as células perderam acurácia e a calibragem inicial, mas julgou-se possível prosseguir com os ensaios.

Foi feita a filmagem destes ensaios, com uma câmera Canon S3-IS e captura em 30 fps (frames per second). Foi possível verificar uma grande deformação das células, especialmente nos momentos de variação da aceleração do motor.

Decidiu-se por não zerar a medição das células, por possíveis mudanças nas medições posteriores.

Todos os motores foram levados a sua máxima aceleração durante pelo menos 10 segundos. Foi uma das condições impostas nos ensaios. Assim, considera-se que as medições com maior força na célula e que tenham duração superior a 5 segundo são as medições do motor em condição de máxima aceleração e em regime.

A seguir, os resultados e comentários dos ensaios:

4.4.1. Ensaio 1 - Hélice 1, Combustível 1

A Figura 21 apresenta o resultado do ensaio número 1 desta série.

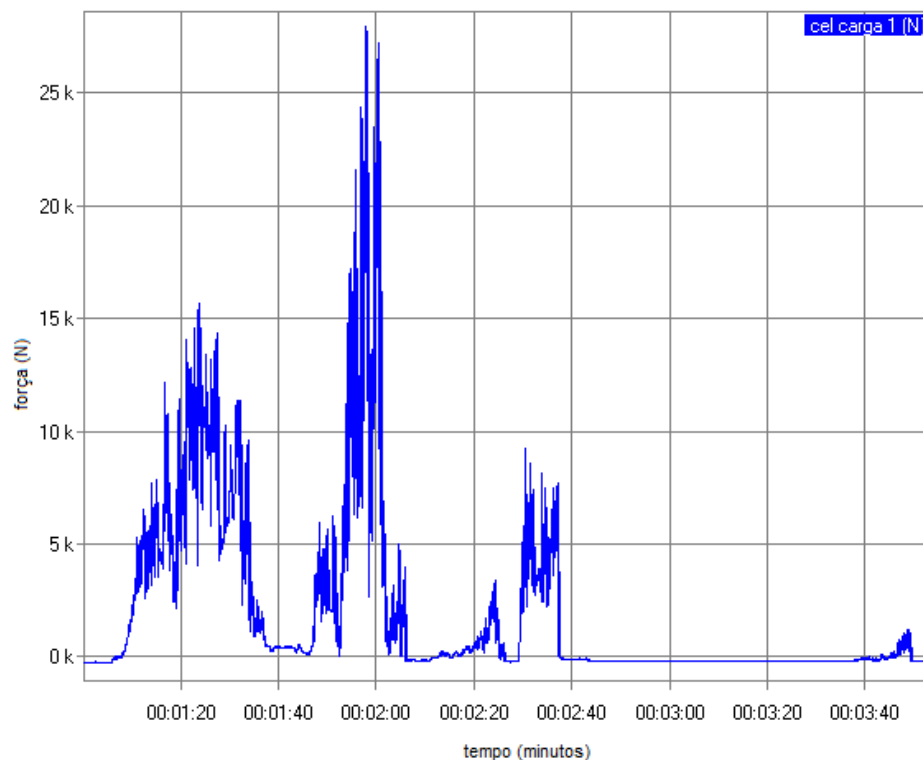


Figura 21 - Gráfico do ensaio nº 1, na configuração 2, hélice 1 e combustível 1.

Percebe-se um grande pico de força aos 2 minutos e que tem duração de 5 segundos. Assim, não foi considerado como força em regime. No vídeo, observou-se, neste momento, uma grande deformação na célula e a bancada vibrando a ponto de se deslocar. Neste momento, chegamos a conclusão que foi excitada uma frequência natural de vibração do sistema.

Porém, as maiores forças – i.e. a máxima aceleração em um intervalo de tempo maior que 7 segundos acusam forças, em média, de 11kN.

No pico, há a medição de uma força de 28,0kN.

4.4.2. Ensaio 2 - Hélice 2, Combustível 1

A Figura 22 apresenta os resultados do ensaio 2, desta série.

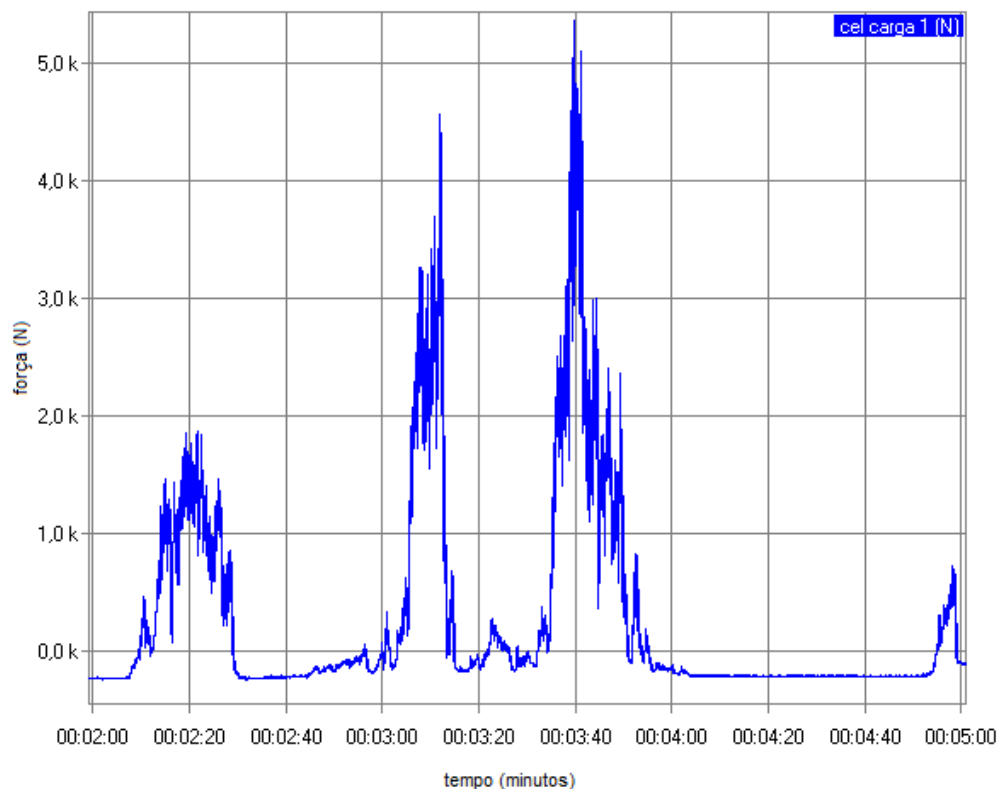


Figura 22 - Gráfico do ensaio nº 2, na configuração 2, hélice 2 e combustível 1.

O gráfico mostra também outro perfil com picos de força, porém de menor intensidade. Durante o ensaio, notou-se que o motor possuía maior vibração e que a tração produzida pelo grupo moto-propulsor era menor.

A força nas células foi, no primeiro pico, de cerca de 1,5kN e no segundo (por volta de 3:10) de 3kN. No terceiro, temos por volta de 2,5kN, com um pico de 5,3kN – que foi a máxima força.

Logo, percebe-se a hélice 2 produz uma menor tração em relação a hélice 1, o que era esperado, dados ensaios anteriores realizados pela equipe.

4.4.3. Ensaio 3 – Hélice 2, Combustível 2

A Figura 23 apresenta os resultados do ensaio 2, desta série.

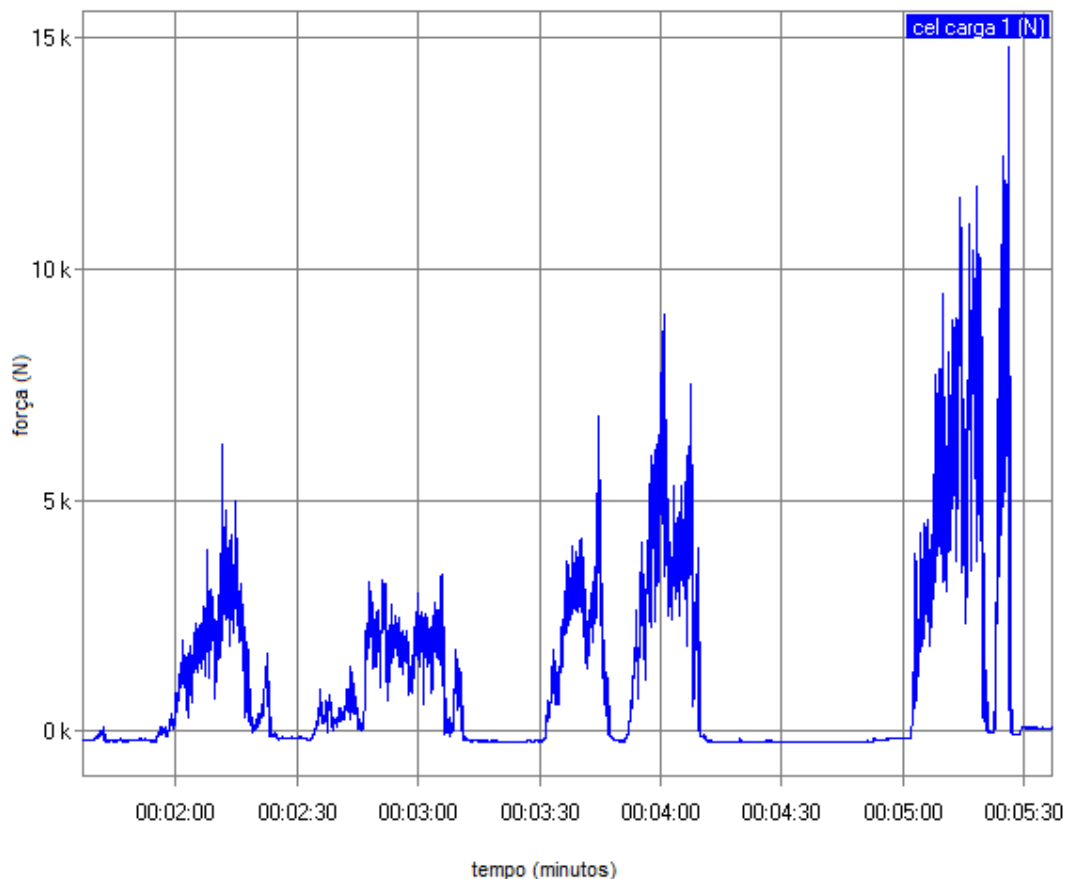


Figura 23 - Gráfico do ensaio nº3, na configuração 2, hélice 2 e combustível 2.

Variando-se o combustível, a célula conseguiu capturar variação no funcionamento do motor. Os resultados são superiores aos do segundo ensaio, comprovando que uma menor quantidade de lubrificante e maior quantidade de nitro-metano no combustível promove um melhor funcionamento do motor, gerando maior potência.

A maior força capturada foi de 14,8kN, sendo a média de força em regime de máxima aceleração, de 8kN

4.4.4. Ensaio 4 – Hélice 1, Combustível 2

A Figura 24 apresenta os resultados do ensaio 2, desta série.

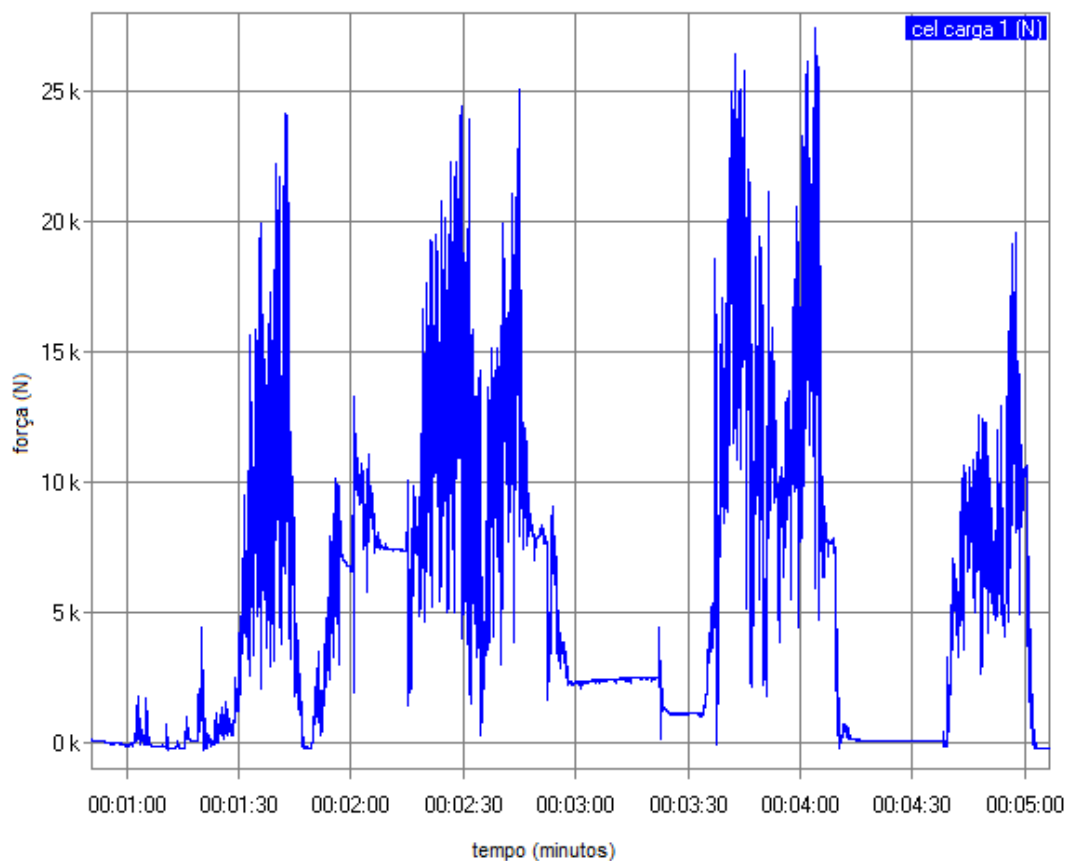


Figura 24 - Gráfico do ensaio n°4, na configuração 2, hélice 1 e combustível 2.

No ensaio com a hélice 1 e o combustível 2, combinou-se a maior força medida com a maior média de força na célula.

A maior força medida é de 27,4kN e a maior média, considerando-se os critérios previamente definidos, foi da ordem de 17,5kN, observadas em 2min30s e 3min30s.

4.4.5. Análise e comentários da segunda série de ensaios.

Percebeu-se que as células conseguiram capturar mudanças nas medições, ao se variar as hélices e o combustível. Porém, julgou-se que os valores não são confiáveis, dados os resultados bastante discrepantes em relação ao primeiro ensaio – no qual testou-se o mesmo motor com a hélice e combustível 1.

O ensaio 1 forneceu a maior força, individual, porém, o ensaio 4 forneceu o maior valor de força de tração em regime. Os dois resultados foram obtidos com a hélice 1, o que mostra que esta hélice faz o conjunto moto-propulsor ter mais torque. E em relação ao combustível, o combustível 2 mostrou-se mais adequado, por fazer o motor ter o maior torque entre os 4 ensaios.

Após o último ensaio desta série, durante a desmontagem da hélice, com apenas uma pequena força, as células deformaram-se plasticamente. Assim, tornaram-se inutilizáveis.

Uma das hipóteses para tal ocorrência é fadiga da célula, já que as deformações eram bastante grandes. A outra hipótese é a de encruamento do alumínio, o que o fragilizou na região mais solicitada.

Pela possível repetição deste fenômeno, decidiu-se então alterar o ensaio, passando a medir a tração do conjunto moto-propulsor.

A síntese desta primeira série de ensaios, é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7 - Síntese dos resultados da segunda série de ensaios.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Maior força (pico)	28kN	5,3kN	14,8kN	27,4kN
Maior força (média)	11kN	2,5kN	8kN	17,5kN
Descalibração	0kN	-0,210kN	-0,150kN	0,115kN

A ordem de grandeza da descalibração é 10 vezes menor que a ordem de grandeza dos valores obtidos, assim, estes resultados ainda podem ser considerados como válidos.

4.5. Terceira série de ensaios.

Para a terceira série de ensaios, foi necessária uma alteração na bancada. As células, antes fixadas diretamente na bancada, agora são fixadas através de mãos-francesas. Além disso, agora elas sustentam o motor, pelo montante do motor – que é o mesmo utilizado pela aeronave. A configuração da bancada é apresentada na Figura 2 (configuração 3). A bancada nesta configuração também é mostrada na Figura 25.

Assim, a bancada passará a medir as cargas de tração que o conjunto moto-propulsor aplica.

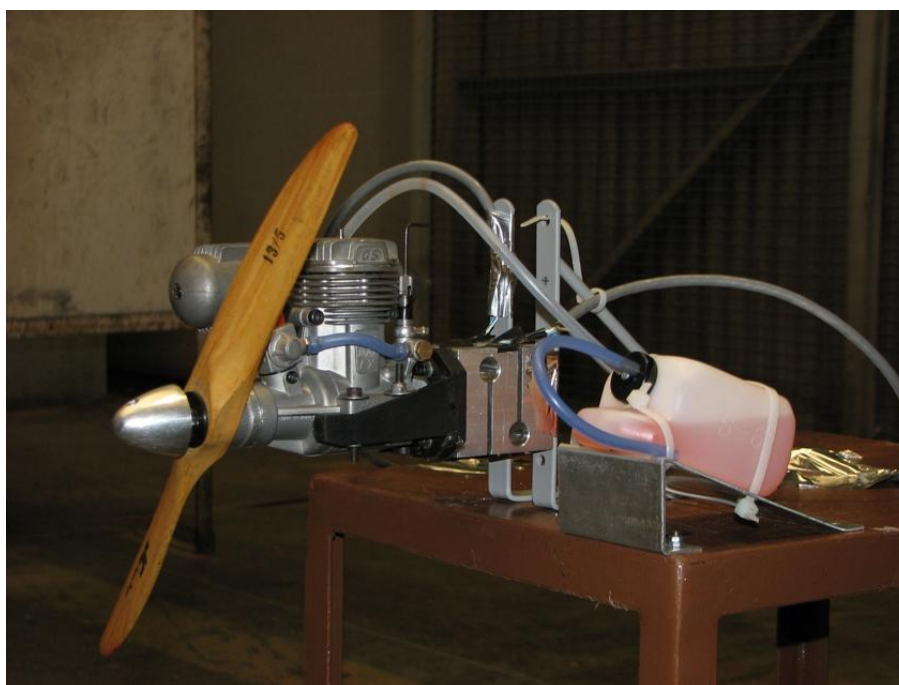


Figura 25 - Bancada na configuração 3

4.5.1. Calibração das células

Para a nova série de ensaios, realizou-se uma nova calibração. Em relação aos ensaios anteriores, a calibração do aquisitor era 1,6 vezes menor que o real. Para esta calibração, tracionou-se a célula, com ela na posição vertical, aplicando-se massas conhecidas, como mostrado na Figura 26.

Porém, percebeu-se que a calibração estava errada após a execução dos ensaios. Logo, os valores dos gráficos nesta série de ensaios não foram corrigidos, **porém os valores apresentados nas análises já estarão multiplicados por este fator 1,6.**

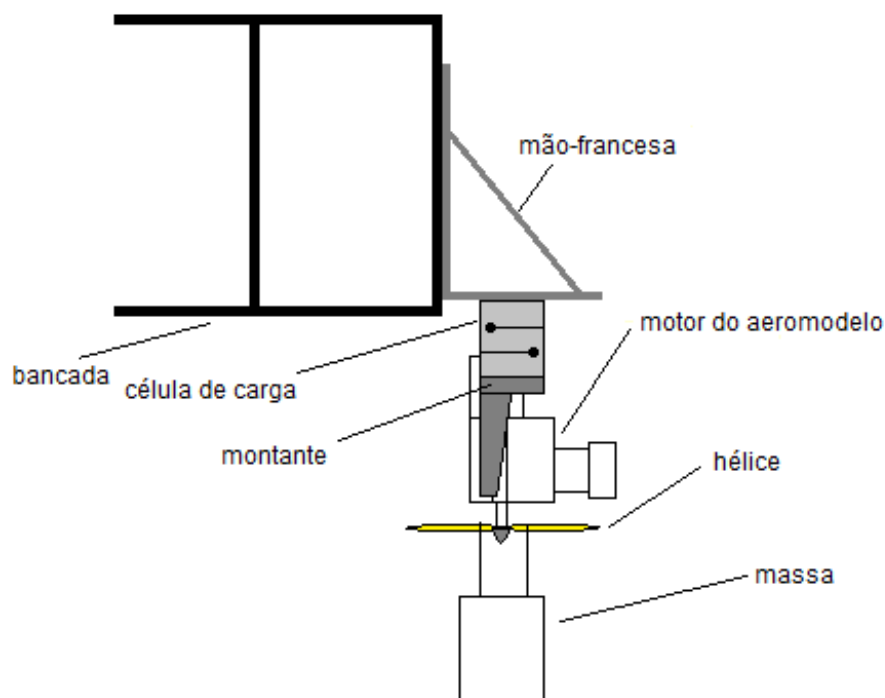


Figura 26 - Esquema da calibração das células para a terceira série de ensaios

4.5.2. Metodologia dos Ensaios:

Os ensaios desta série seguiram os mesmos parâmetros dos demais ensaios, ou seja, variando-se as mesmas hélices e combustíveis.

Efetuaram-se os 4 ensaios propostos, na configuração 3 (vide Figura 2) seguindo-se o seguinte roteiro:

- 1- Afinação do motor, para o combustível e a hélice ensaiados.
- 2- Coloca-se o motor em ponto morto.
- 3- A cada 20 segundos, aproximadamente, aumenta-se a aceleração em 25%.
- 4- Atingindo-se o máximo, a aceleração é reduzida em 25%.
- 5- Ao final, varia-se a aceleração de “idle” ou marcha-lenta para a máxima em pequenos intervalos.
- 6- Para o corte do motor, acelera-se ao máximo e estrangula-se a tubulação de combustível, de modo a consumir o combustível remanescente na linha de alimentação.

4.5.2.1 Ensaio 1 - Hélice 1, Combustível 1

A Figura 27 apresenta o gráfico com os resultados do ensaio 2, desta série.

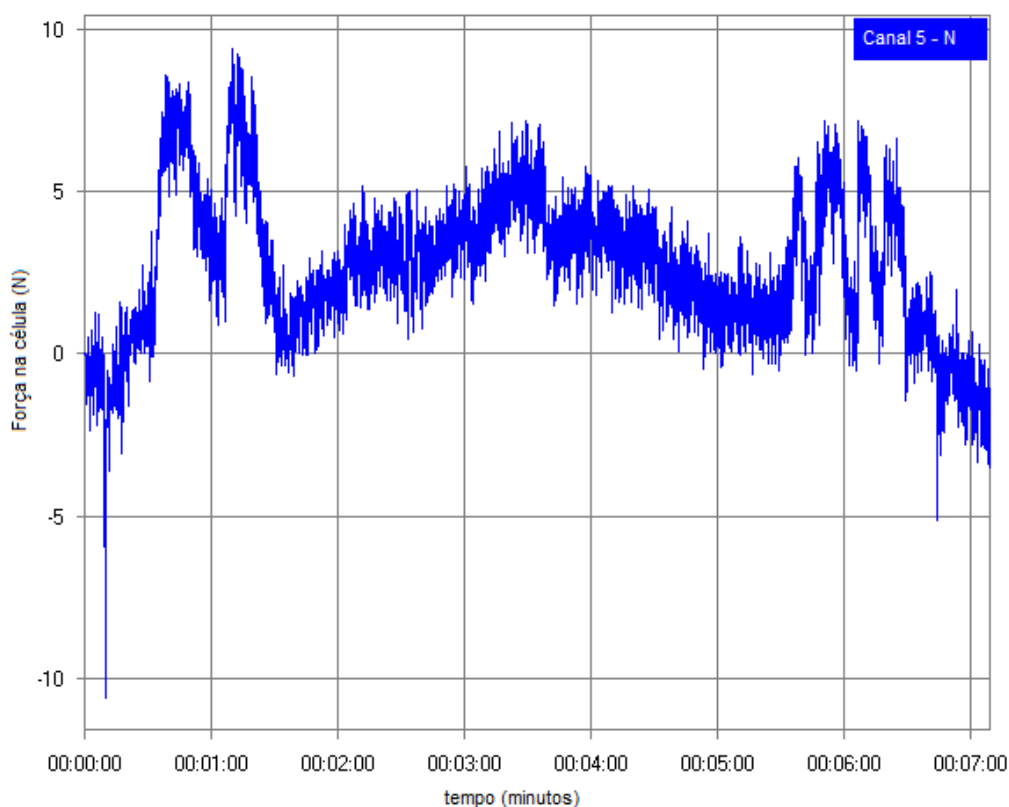


Figura 27 - Gráfico do resultado de ensaio motor 0.61FX, hélice 1, combustível 1.

Percebem-se dois picos iniciais, da afinação do motor. Como força máxima, atinge-se 17,01N de empuxo. Durante a afinação, a média das forças, foi de 11,78N no primeiro pico e 10,78N no segundo pico.

Força na célula, com a carga plena do motor: 8,24N em média – por volta dos 3min30s.

4.5.2.2 Ensaio 2 - Hélice 2, Combustível 1

A Figura 28 apresenta o gráfico com os resultados do ensaio 2, desta série.

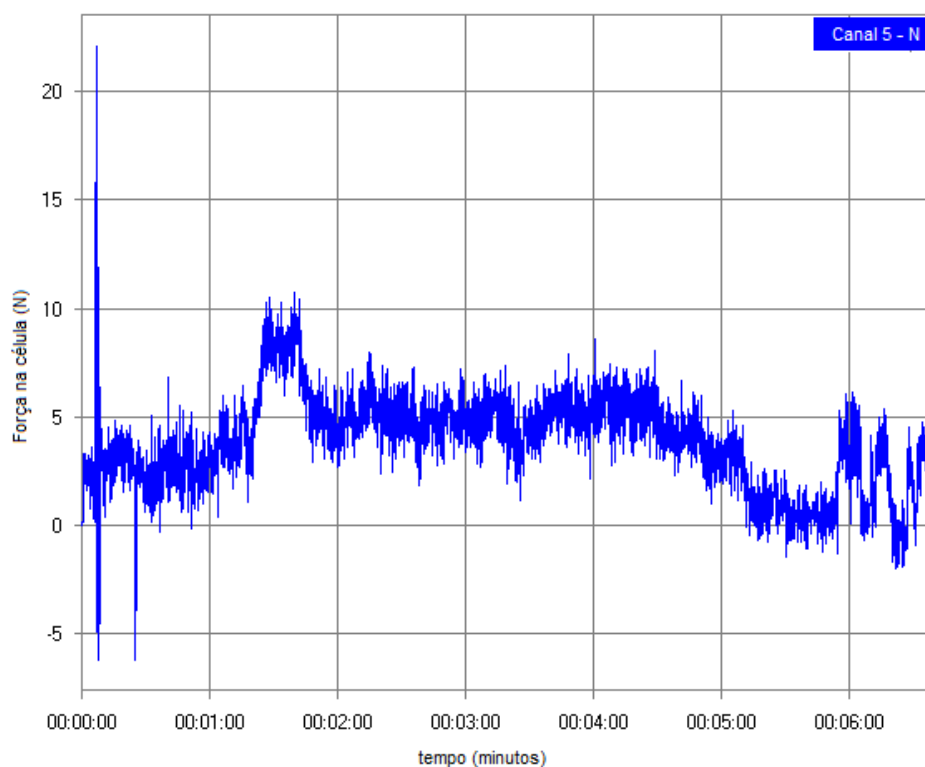


Figura 28 - Gráfico do resultado de ensaio motor 0.61FX, hélice 2, combustível 1.

Verifica-se que o ensaio partiu com a célula acusando uma força de 4N.

Apesar de seguir o roteiro proposto, a menos do pico de força aos 1min30s e aos 6min00s, não houve grandes picos de empuxo do grupo moto-propulsor. Considerou-se um pico de aceleração aos 4min00s com duração de cerca de 30 segundos

Assim, analisando-se o pico dos 1min30s, tem-se uma força máxima de 16,48N e em média 13,15N.

Já no pico dos 4min00s – 4min30s observa-se um máximo de 12,80N e uma média de 8,64N,

Ao final, percebe-se que a tensão residual é praticamente nula.

4.5.2.3 Ensaio 3 - Hélice 2, Combustível 2

A Figura 29 apresenta o gráfico com os resultados do ensaio 2, desta série.

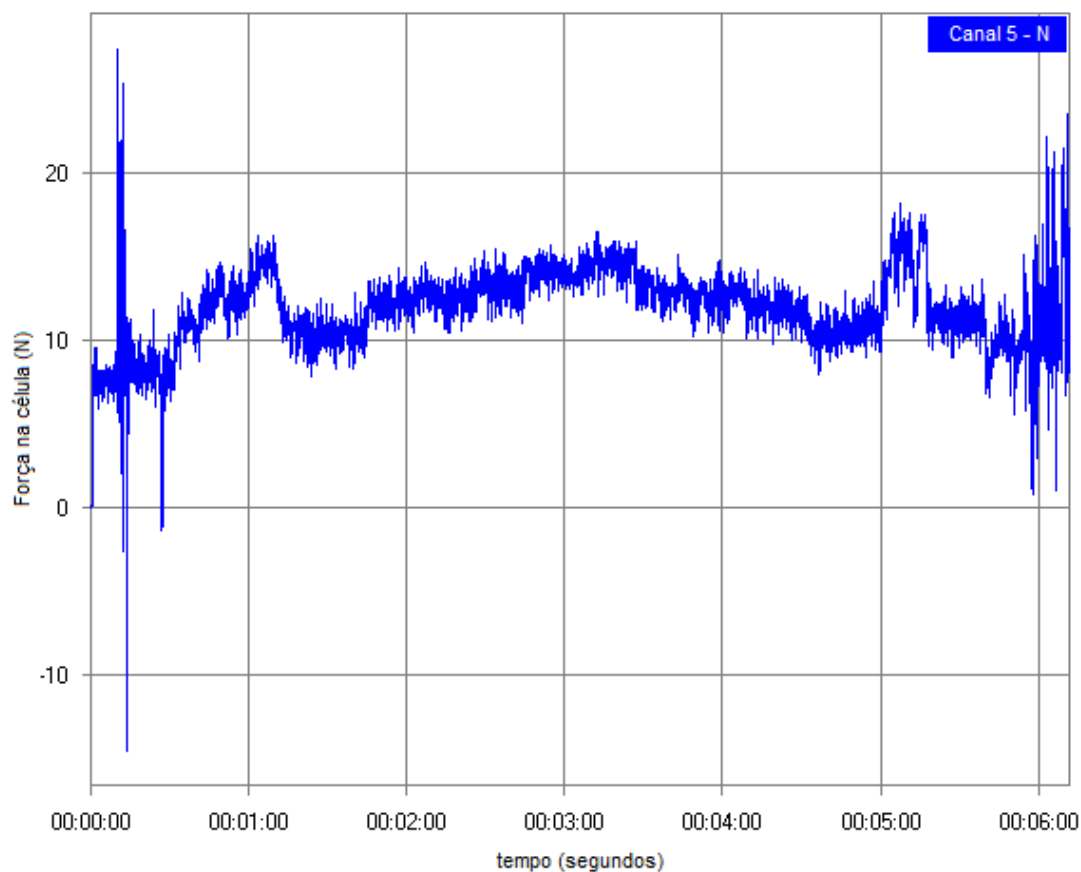


Figura 29 - Gráfico do resultado de ensaio motor 0.61FX, hélice 2, combustível 2.

A célula partiu acusando uma tensão de 12,8N.

A média da carga em máxima aceleração foi de 23,84N, em 5min10s. Porém, a maior força medida foi de 43,84N, logo no início da medição.

Todos estes valores não foram subtraídos da força inicialmente apontada.

4.5.2.4 Ensaio 4 - Hélice 1, Combustível 2

A Figura 30 apresenta o gráfico com os resultados do ensaio 2, desta série.

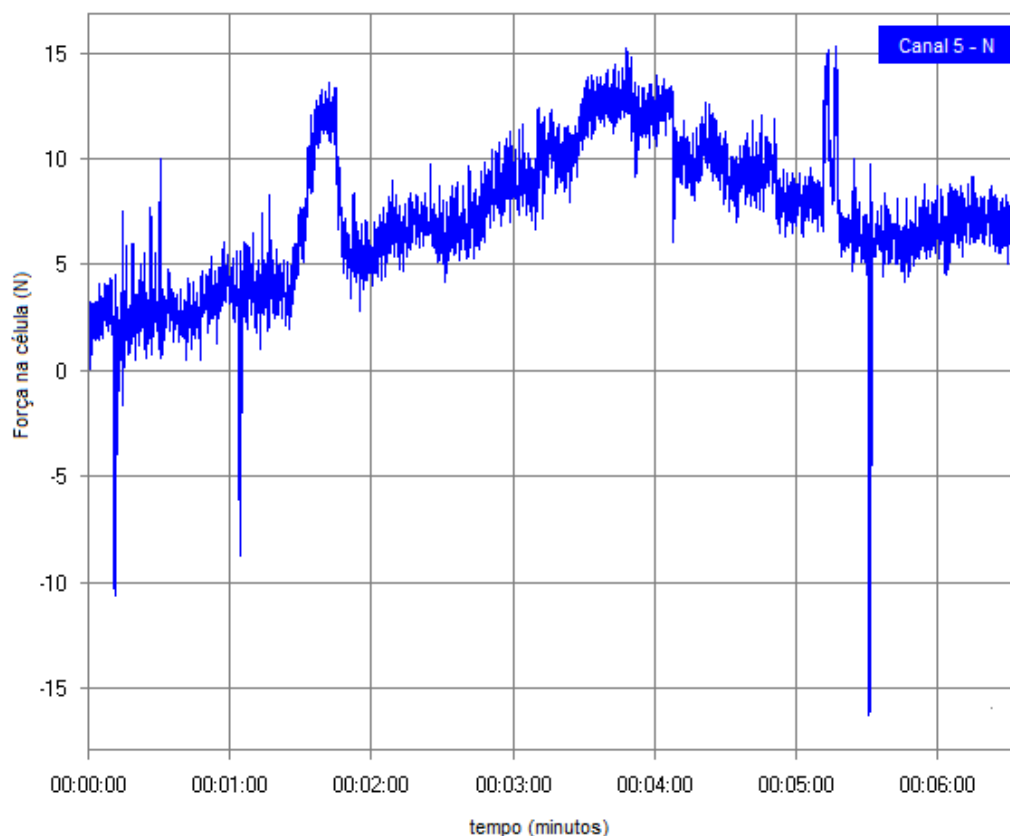


Figura 30 - Gráfico do resultado de ensaio motor 0.61FX, hélice 1, combustível 2

A célula não partiu do zero, partindo-se com carga de aproximadamente 4,8N.

Pico de máxima aceleração do motor, em regime, atingido aos 3min35s, com intensidade de aproximadamente 20,43N. A máxima força medida foi de 26,08N.

Após o corte do motor, houve uma tensão residual de aproximadamente 11,2N.

Este foi o ensaio com maior força de tração média, mantendo-se o motor em máxima aceleração.

4.5.2.5 Análises e comentários da terceira série de ensaios

Como citado no início desta seção, foi necessária uma nova calibração. Esta foi feita pendurando-se massas conhecidas de forma a se tracionar a célula. Verificou-se que a calibração até então utilizada estava com um erro de 1,6 em relação aos valores reais. Assim, todos os valores apresentados na Tabela 8, são os valores corrigidos, ou seja, multiplicados por 1,6.

Tabela 8 - Síntese dos resultados desta série de ensaios - corrigidos.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Máxima força (pico)	17,01N	16,48N	43,84N	26,08N
Máxima força (média)	8,24N	13,15N	23,84N	20,43N
Descalibragem	0N	4N	12,8N	4,8N

A Tabela 9 apresenta os valores corrigidos (multiplicados por 1,6), descontando-se a descálbragem inicial.

Tabela 9 - Resultados corrigidos da terceira série de ensaios

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Máxima força (pico)	17,01N	12,48N	31,04N	21,28N
Máxima força (média)	8,24N	9,15N	11,04N	15,63N
Descalibragem considerada	0N	4N	12,8N	4,8N

Os valores apresentados na Tabela 10, são os resultados plotados pelo aquisitor, ou seja, não foram modificados em decorrência das descálbragens e das tensões residuais.

Tabela 10 - Síntese dos resultados da terceira série de ensaios.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Máxima força (pico)	10,63N	10,30N	27,4N	16,30N
Máxima força (média)	5,15N	8,22N	14,9N	12,77N
Descalibragem	0N	2,5N	8N	3N

Assim, é possível observar que o conjunto hélice 1 e combustível 2 é o que produz os melhores resultados com relação ao empuxo gerado pelo grupo moto-propulsor, por,

em regime, produzir a maior tração. Resultado este que está em acordo com os ensaios realizados com a bancada montada na segunda configuração.

E pode-se observar que também nesta série de ensaios o dinamômetro capturou diferenças nos parâmetros de funcionamento do motor, quando rodando com hélices e combustíveis diferentes.

Estes resultados combinados permitem concluir que com a finalidade de comparativos de grupo moto-propulsores, o dinamômetro projetado e construído atende às necessidades da equipe.

5. CONCLUSÃO:

De início, avaliou-se com grande erro a avaliação das deformações na célula. A carga imposta na célula original sequer foi detectada pelo aquisitor, significando que a deformação causada era muito pequena. Através de processos iterativos, chegou-se a conclusão que as deformações eram muito pequenas, mesmo aumentando-se o furo na célula, o que levou ao re-projeto da célula e a confecção de uma menos robusta que a originalmente projetada.

Com o novo projeto, as deformações produzidas foram grandes o suficiente para serem detectadas pelo aquisitor, o que permitiu inclusive uma melhor calibragem, obtendo-se resultados bastante próximos da realidade. Assim, viabilizou-se o projeto do dinamômetro.

Da experiência de se fazer a célula de carga nas oficinas, valeu pela aquisição de conhecimentos de fabricação mecânica, porém, os prazos para construção foram muito altos.

A primeira medição do dinamômetro não foi satisfatória, pelo fato de haver uma tensão residual após o ensaio. Apesar disso, prosseguiu-se com o ensaio e verificou-se que o dinamômetro é capaz de medir variações no funcionamento do motor, ao se alterar algum componente de funcionamento do grupo moto-propulsor, no caso do projeto, o combustível e a hélice.

É possível inclusive uma avaliação de melhor combinação combustível-hélice, chegando-se a conclusão que o melhor conjunto é o formado pela hélice 1 (13/6) com o combustível 2 (20% de nitrometano).

Sendo possível esta medição com os presentes equipamentos, conclui-se que o projeto atende aos requisitos da equipe, sendo possível a avaliação de alterações de componentes e mesmo, comparação entre os diferentes tipos de combustíveis e de hélices. E mesmo uma comparação entre motores disponíveis.

Em síntese, os resultados seguem na

Tabela 11:

Tabela 11 - Resultados finais compilados.

Ensaio de Torque				
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Maior força (pico)	28kN	5,3kN	14,8kN	27,4kN
Maior força (média)	11kN	2,5kN	8kN	17,5kN
Descalibração	0kN	-0,210kN	-0,150kN	0,115kN
Ensaio de Tração				
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Máxima força (pico)	17,01N	12,48N	31,04N	21,28N
Máxima força (média)	8,24N	9,15N	11,04N	15,63N
Descalibragem considerada	0N	4N	12,8N	4,8N

5.1. Etapas Futuras:

Há a intenção de se prosseguir com o estudo, modificando-se os componentes do motor da aeronave, que em projetos futuros é a da modificação dos anéis de pistão e da camisa do cilindro, seja via LST (Laser-Surface Texturing) [6][7][8], seja via utilização de filmes finos.

A intenção é a de se reduzir ou mesmo eliminar o uso de lubrificantes no motor da aeronave, com o objetivo de se aumentar o desempenho, através da injeção de maior quantidade de combustível na mistura e também o de reduzir-se a emissão de lubrificante nos gases de escape.

Além disso, deseja-se testar outros modelos de motores, de maior cilindrada ou com outros recursos, como bomba injetora de combustível.

Há ainda o que aperfeiçoar, com a correta calibração da célula, de modo a se gerar ensaios com os valores corretos – ensaios quantitativos, ao invés dos ensaios qualitativos. Além disso, deseja-se também adicionar um tacômetro digital, de modo a se extrair a potência do motor.

Já foi incorporada uma modificação no sistema: a adição de um acelerador via rádio-frequência no qual o acelerador do motor é acionado por um servo-mecânico acoplado a um rádio-receptor. Esta modificação permite um maior controle na taxa da aceleração do motor, além de se conhecer mais precisamente qual a aceleração aplicada ao motor.

6. BIBLIOGRAFIA:

- [1] GARCIA, O. & BRUNETTI, F., Motores de Combustão Interna, 1989.
- [2] Byron Fuels – The world leader
<<http://www.byronfuels.com/pages/products.html> - acesso em 31/05/2010>.
- [3] Magna Pro – Nitrometano - <<http://www.nitrometano.com.br/>> - acessado em 23/04/2010.
- [4] GUSHIKEN, E.Y & KOBAYASHI, R.M, Projeto de um dinamômetro para motores de veículos mini baja. 2006. 5 páginas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [5] OS Engines – Home Page.<www.osengines.com>. Acesso em 25/03/2010.
- [6] ETSION, I.; HALPERIN, G. Analytical and Experimental Investigation of Laser-Textured Mechanical Seal Faces. 1999. 6 páginas. ASME/SLTE Tribology Conference, Toronto, Canadá.
- [7] RONEN A., ETSION, I. KLIGERMAN, Y. Friction-Reducing Surface-Texturing in Reciprocating automotive Components. 2001, 8 páginas. 56th Annual Meeting. Orlando, FL, Estados Unidos da América
- [8] RYK, G. KLIGERMAN, Y. ETSION, I. Experimental Investigation of Laser Surface Texturing for Reciprocating Automotive Components, 2002, 6 páginas. 57th annual meeting, Houston, TX, Estados Unidos da América.

7. ANEXOS:

7.1. Procedimento da construção da célula de carga.

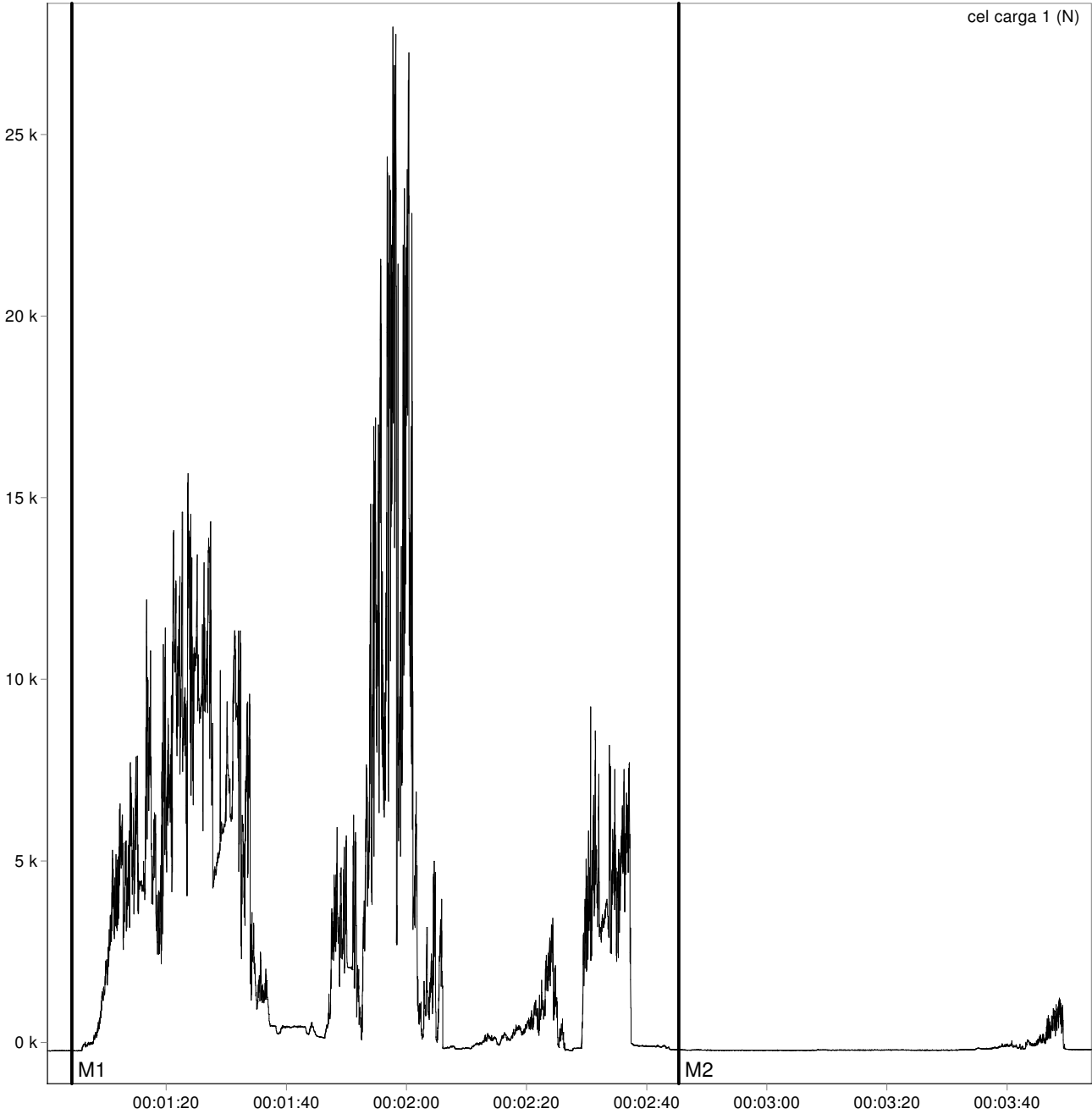
Os procedimentos de construção da célula de carga:

- Corte da barra de alumínio, de modo a se manter um sobremetal.
- Usinagem do bloco, até as dimensões acima descritas. A usinagem foi realizada com uma fresadora dotada da ferramenta “bailarina”.
- Confecção dos furos de alívio de tensão e dos furos para fixação da célula a base e do motor a célula.
- Confecção dos cortes da célula, com a fresadora dotada de um disco de corte e suporte, também confeccionado.
- Acabamento superficial através de lixamento das faces. As lixas utilizadas foram lixas d’água das seguintes granas:
 - 100 para maior desbaste de imperfeições.
 - 180 e 220 para acabamento da superfície, de modo a permitir a colagem dos strain gages, evitar a formação de superfície estruturada – com o lixamento das superfícies a 45°, formando “X” nas superfícies e visando uma uniformidade das faces.
 - Colagem do strain gage com cola de cianoacrilato.
 - Solda de cabo duplo-par, com blindagem dupla aos fios do strain gage.

7.2. Relatórios de ensaios gerados pelo programa AqdAnalysis.

--	--	--	--	--	--

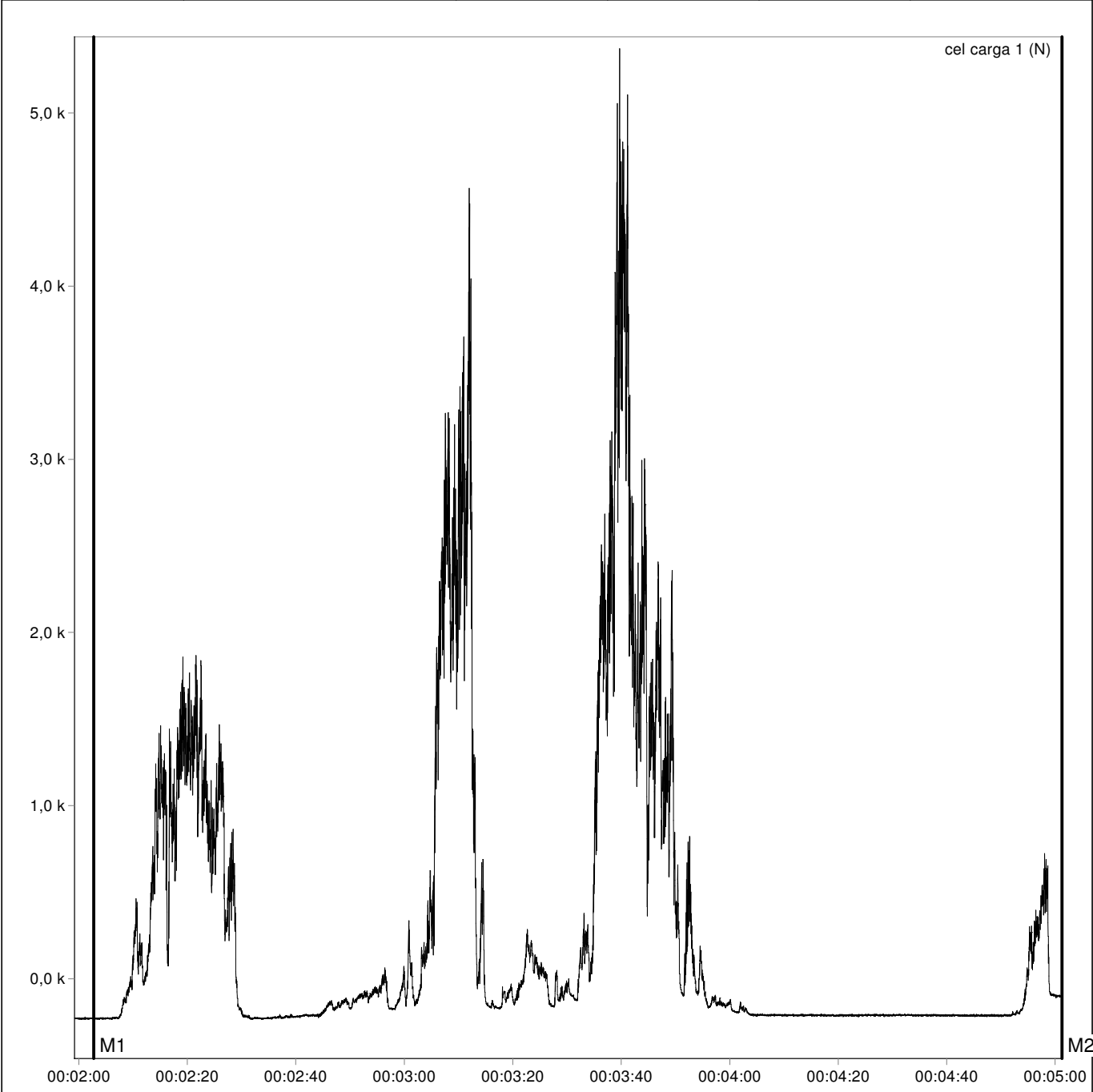
Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_12_1_061_1_1 12/05/10 10:00	cel carga 1 Time	N	-241,17 27963,18	3412,39 5692,18	-230,49 / -204,55 00:01:41.046



--

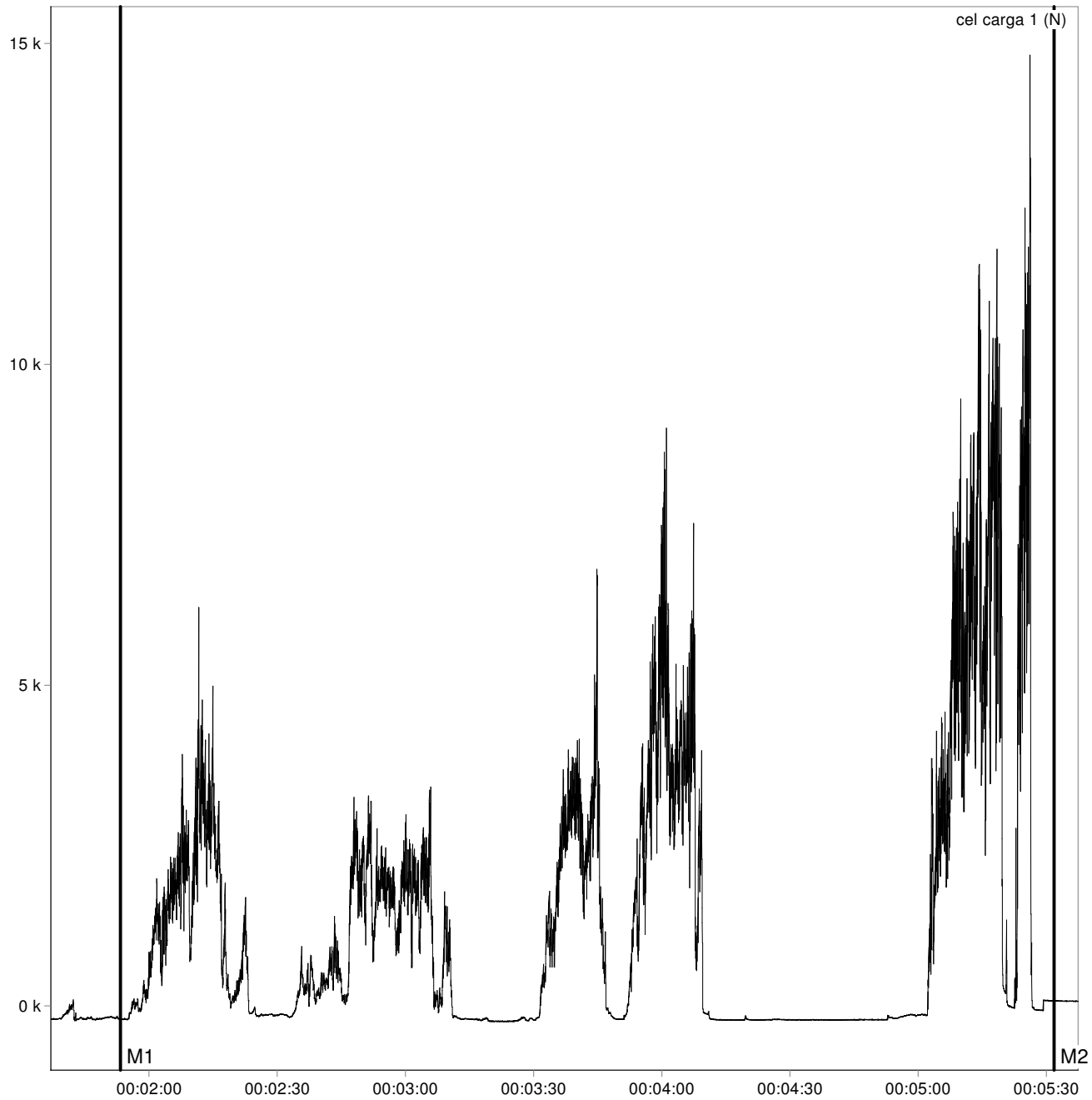
--	--	--	--	--	--

Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_12_1_061_2_1 12/05/10 10:12	cel carga 1 Time	N	-236,59 5371,02	270,29 908,59	-228,96 / -100,79 00:02:58.511



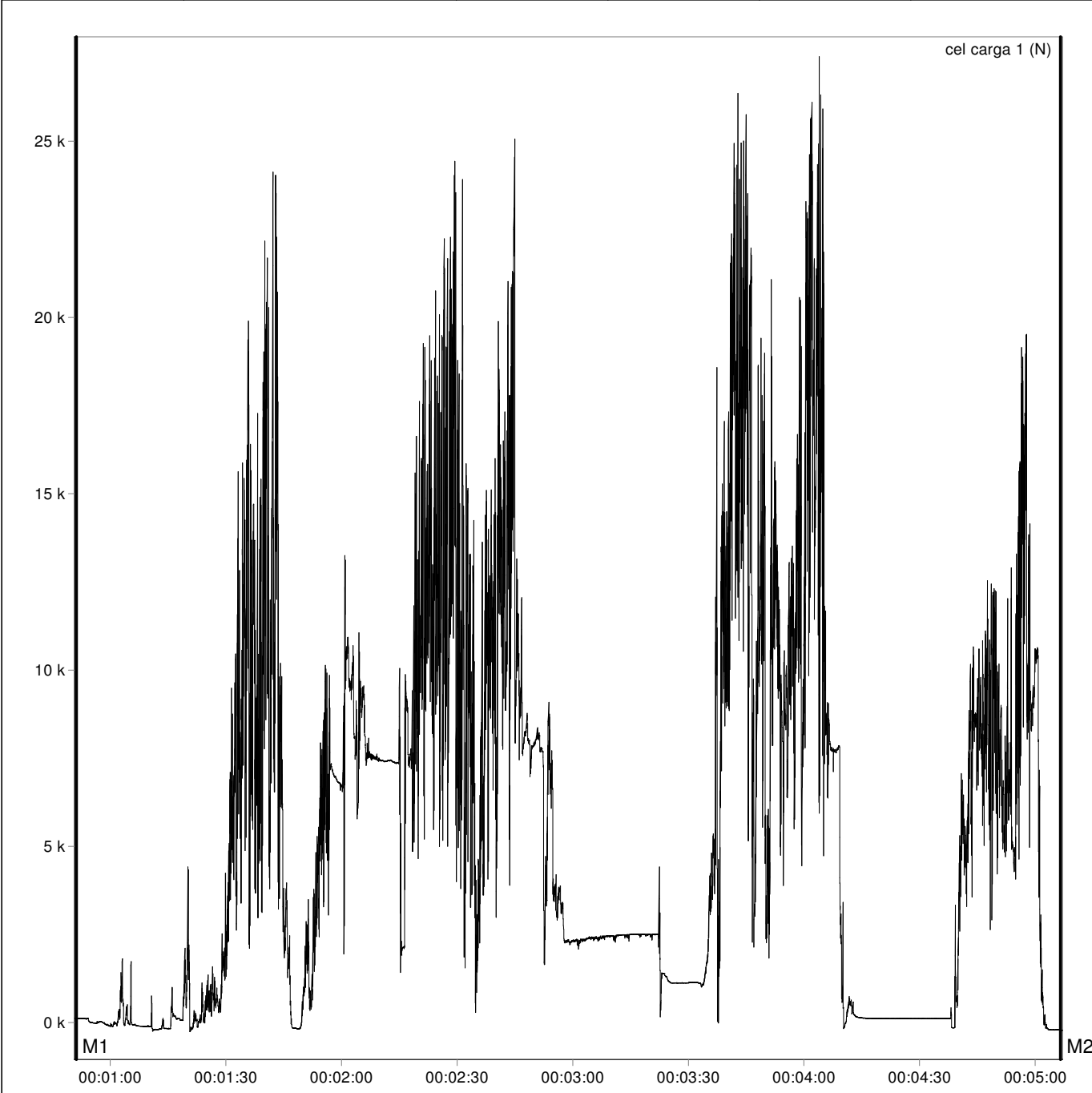
--	--	--	--	--	--

Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_12_1_061_2_2 12/05/10 10:31	cel carga 1 Time	N	-247,27 14819,26	1265,99 2467,20	-198,44 / 82,32 00:03:38.502



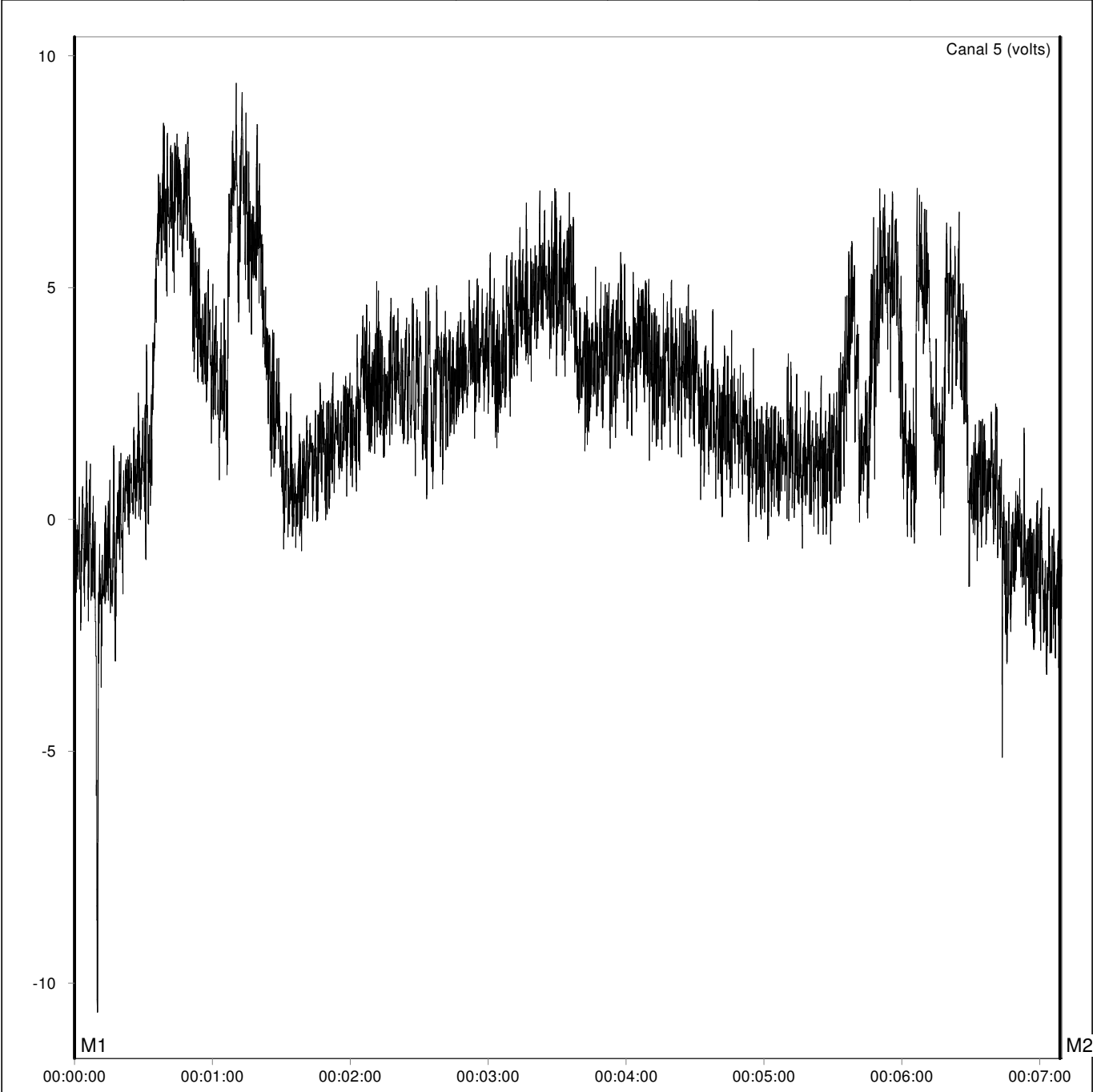
--	--	--	--	--	--

Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_12_1_061_1_2 12/05/10 10:51	cel carga 1 Time	N	-261,00 27400,13	5457,15 7799,99	120,47 / -216,75 00:04:15.328



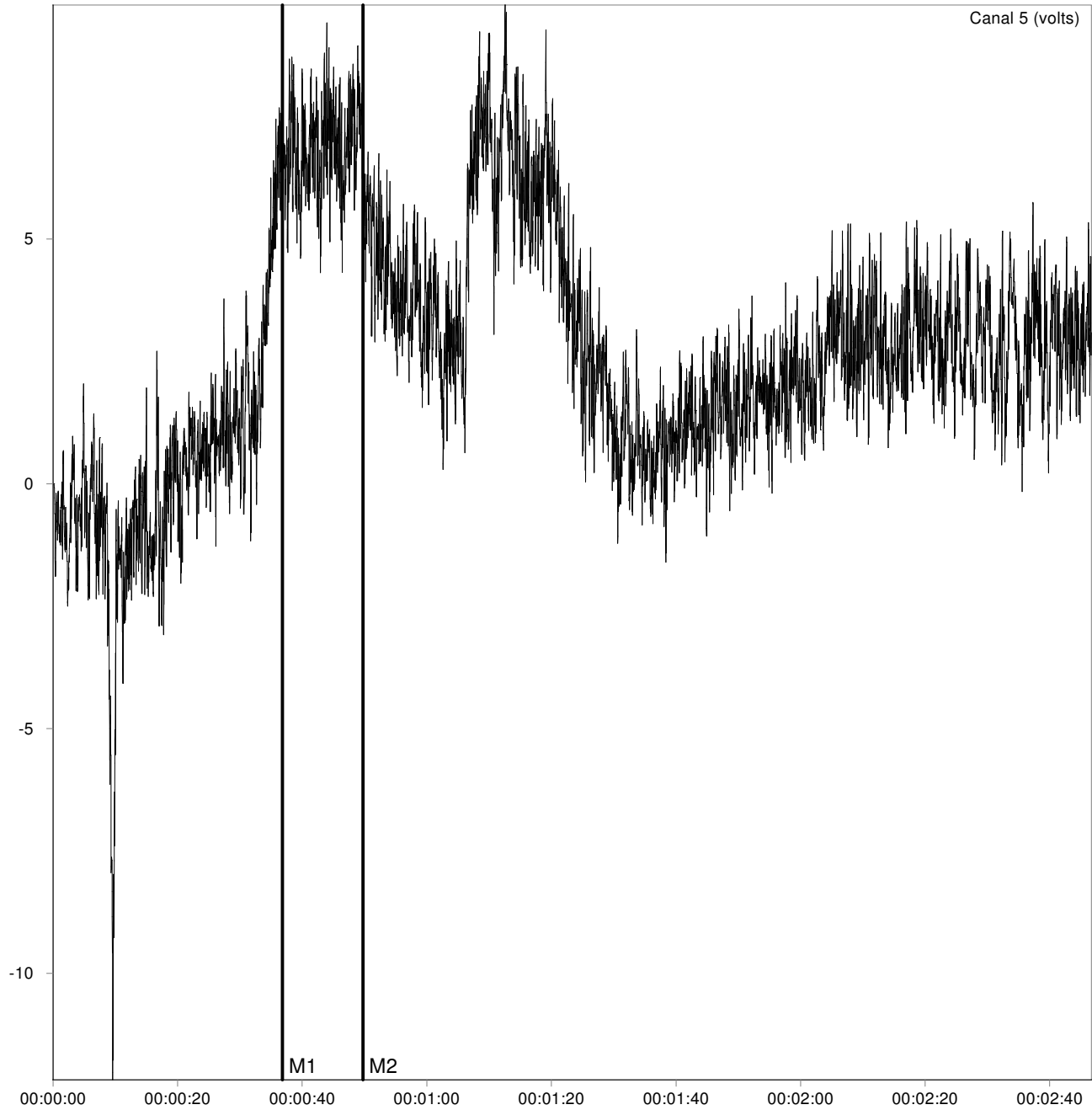
--	--	--	--	--	--

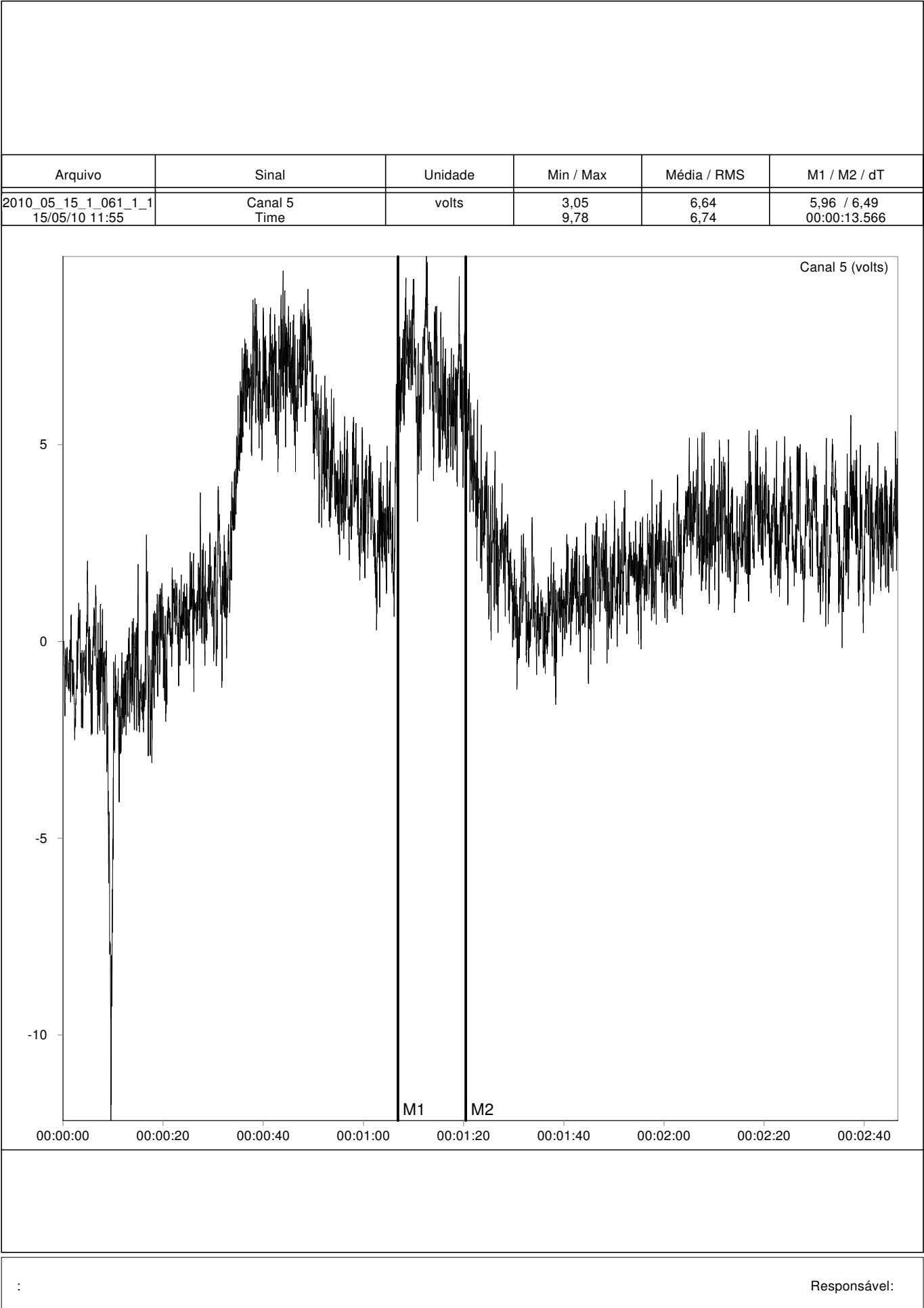
Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_1_1 15/05/10 11:55	Canal 5 Time	volts	-10,63 9,41	2,64 3,44	0,00 / -2,77 00:07:08.776



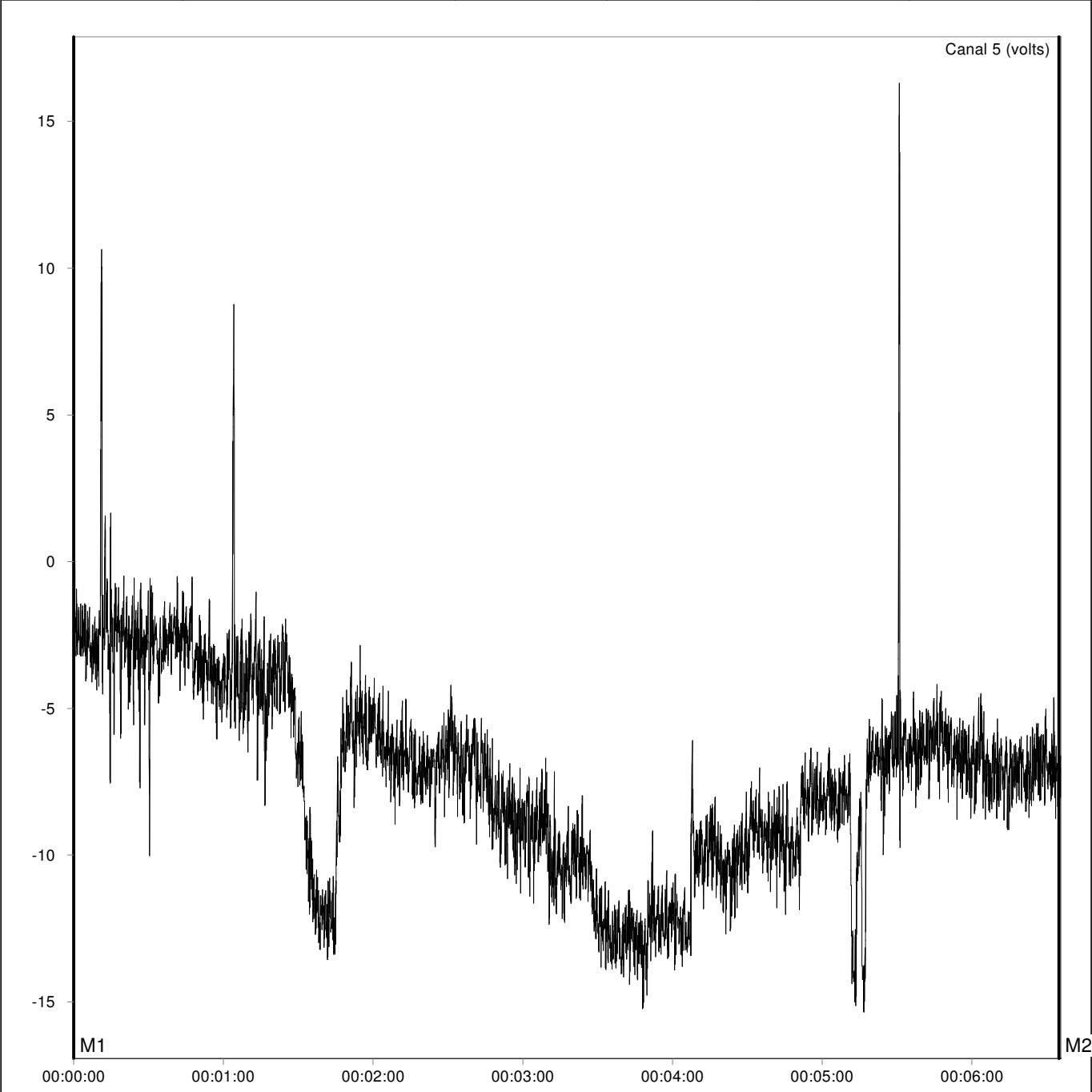
--

Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_1_1 15/05/10 11:55	Canal 5 Time	volts	4,31 9,41	6,88 6,93	7,09 / 6,43 00:00:12.920



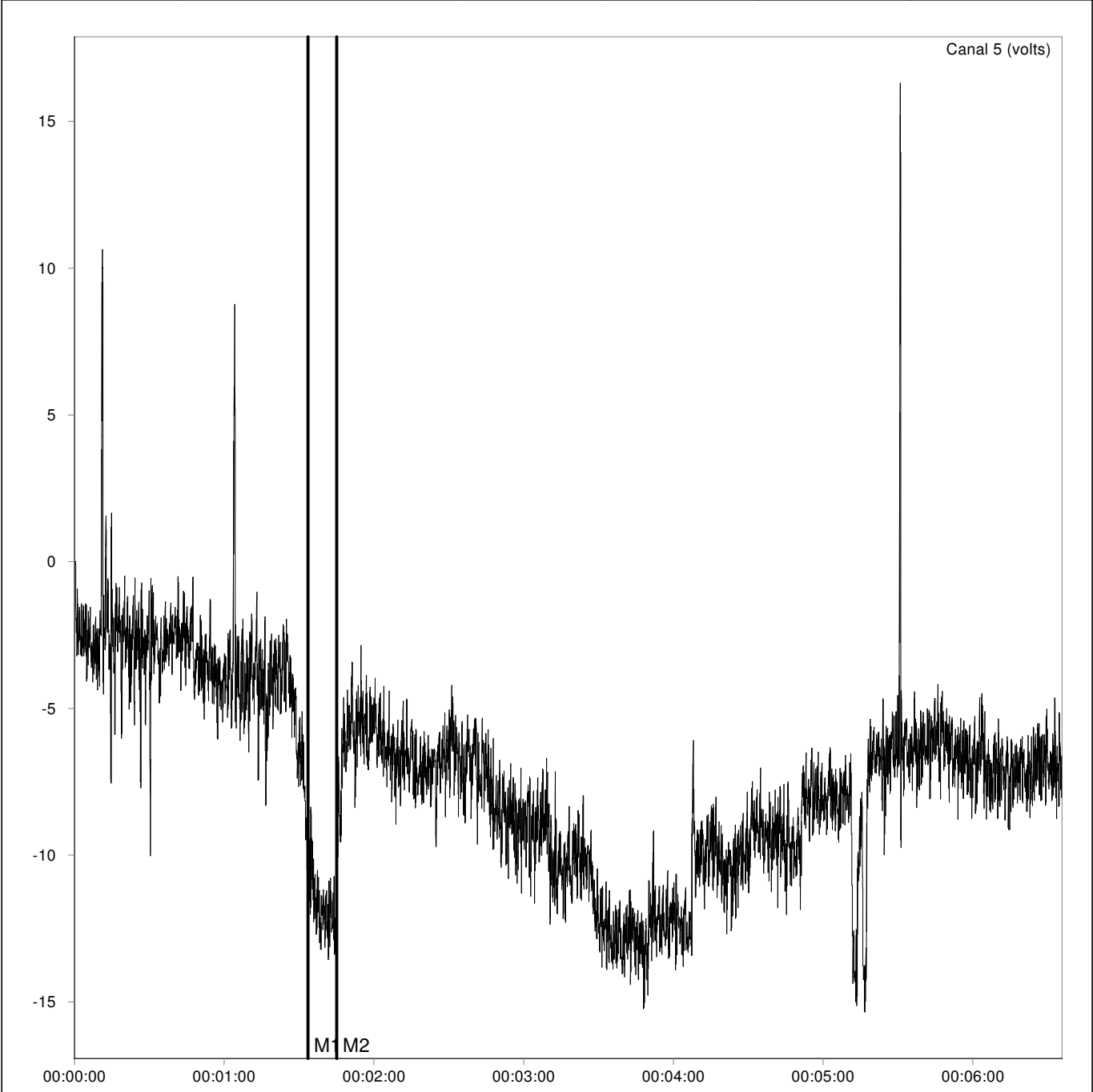


Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_1_2 15/05/10 10:55	Canal 5 Time	volts	-15,35 16,30	-7,36 8,05	0,00 / -6,18 00:06:34.891

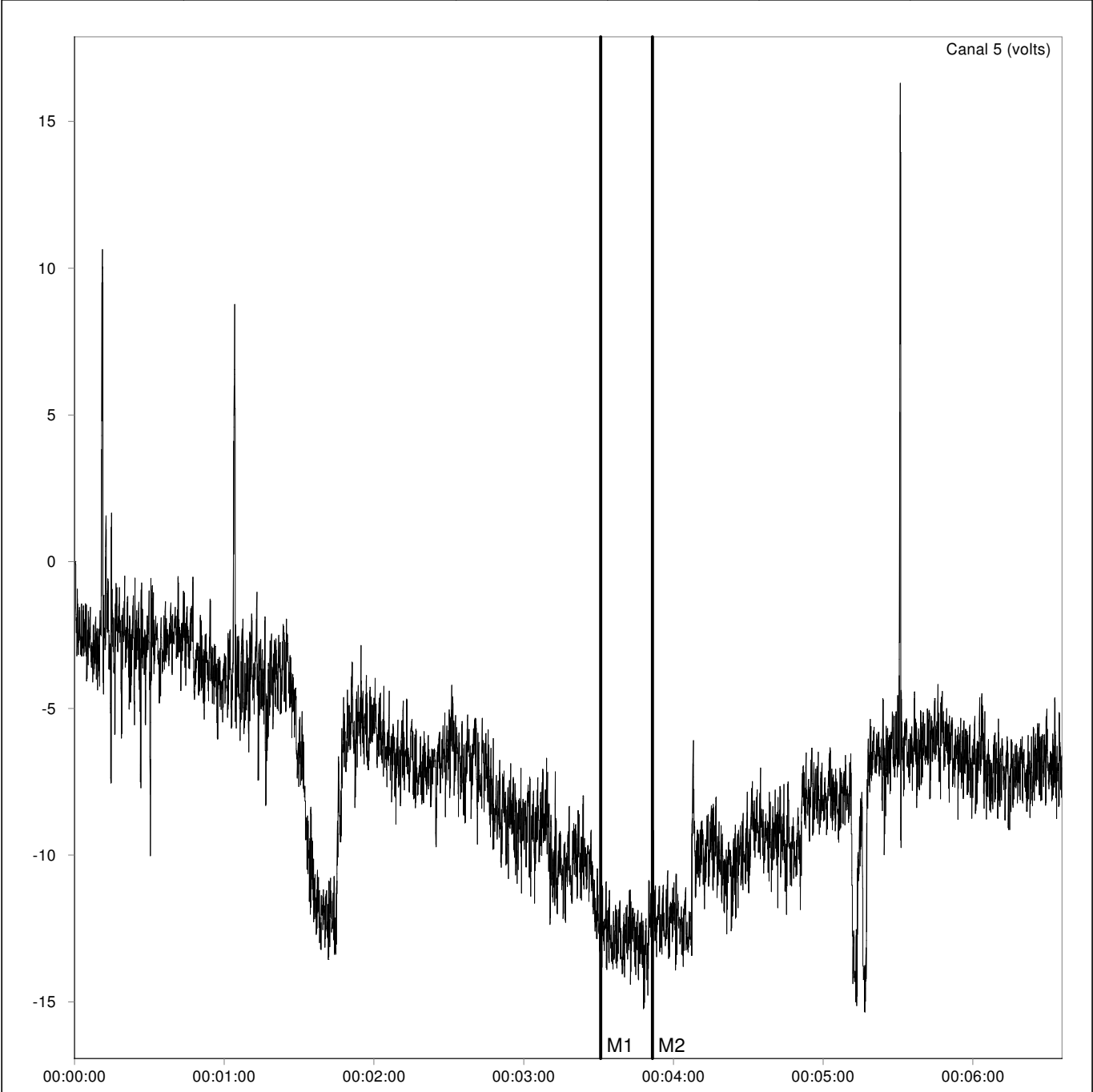


--

Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_1_2 15/05/10 10:55	Canal 5 Time	volts	-13,56 -8,37	-11,67 11,70	-8,85 / -11,18 00:00:11.502

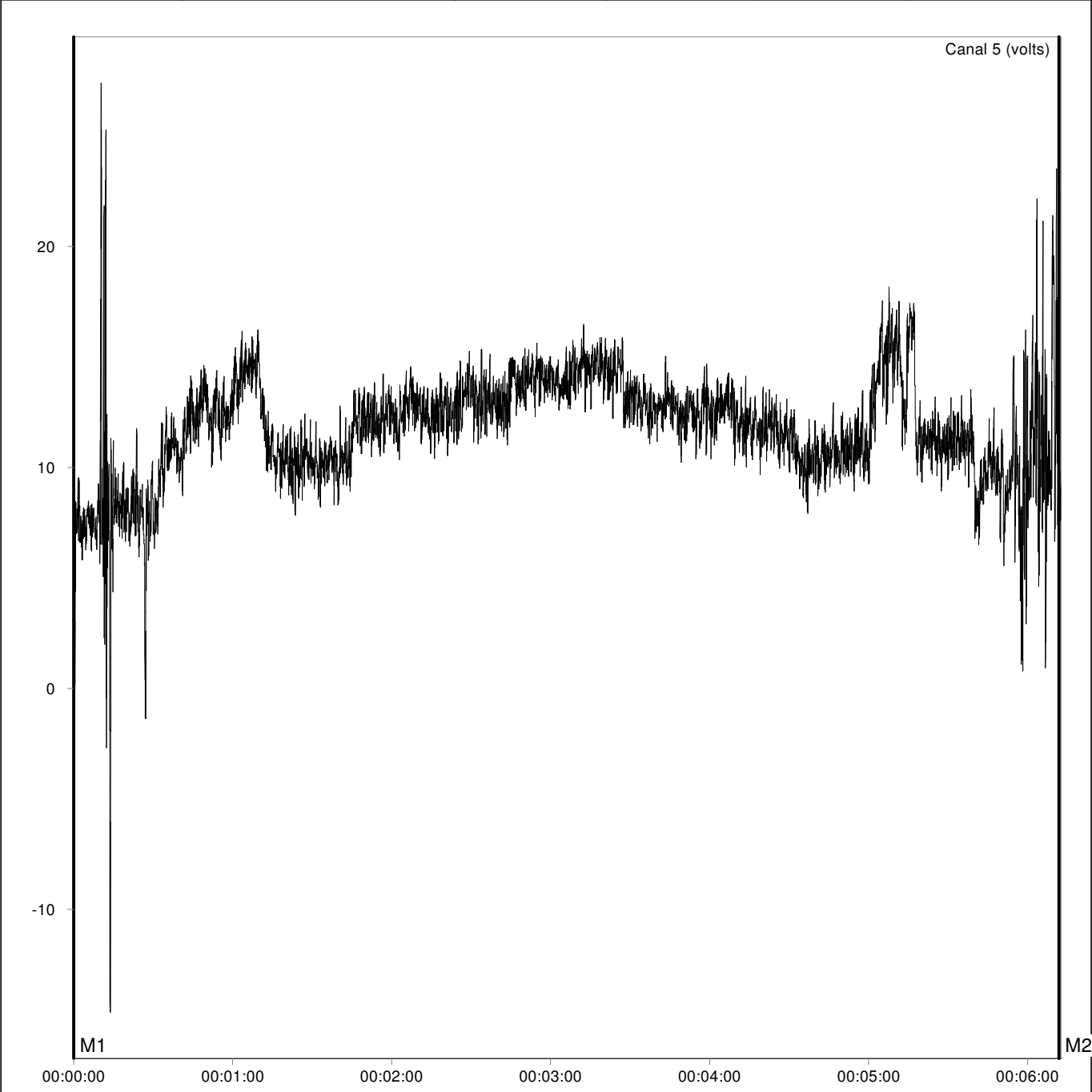


Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_1_2 15/05/10 10:55	Canal 5 Time	volts	-15,24 -10,75	-12,75 12,77	-11,72 / -10,75 00:00:20.703



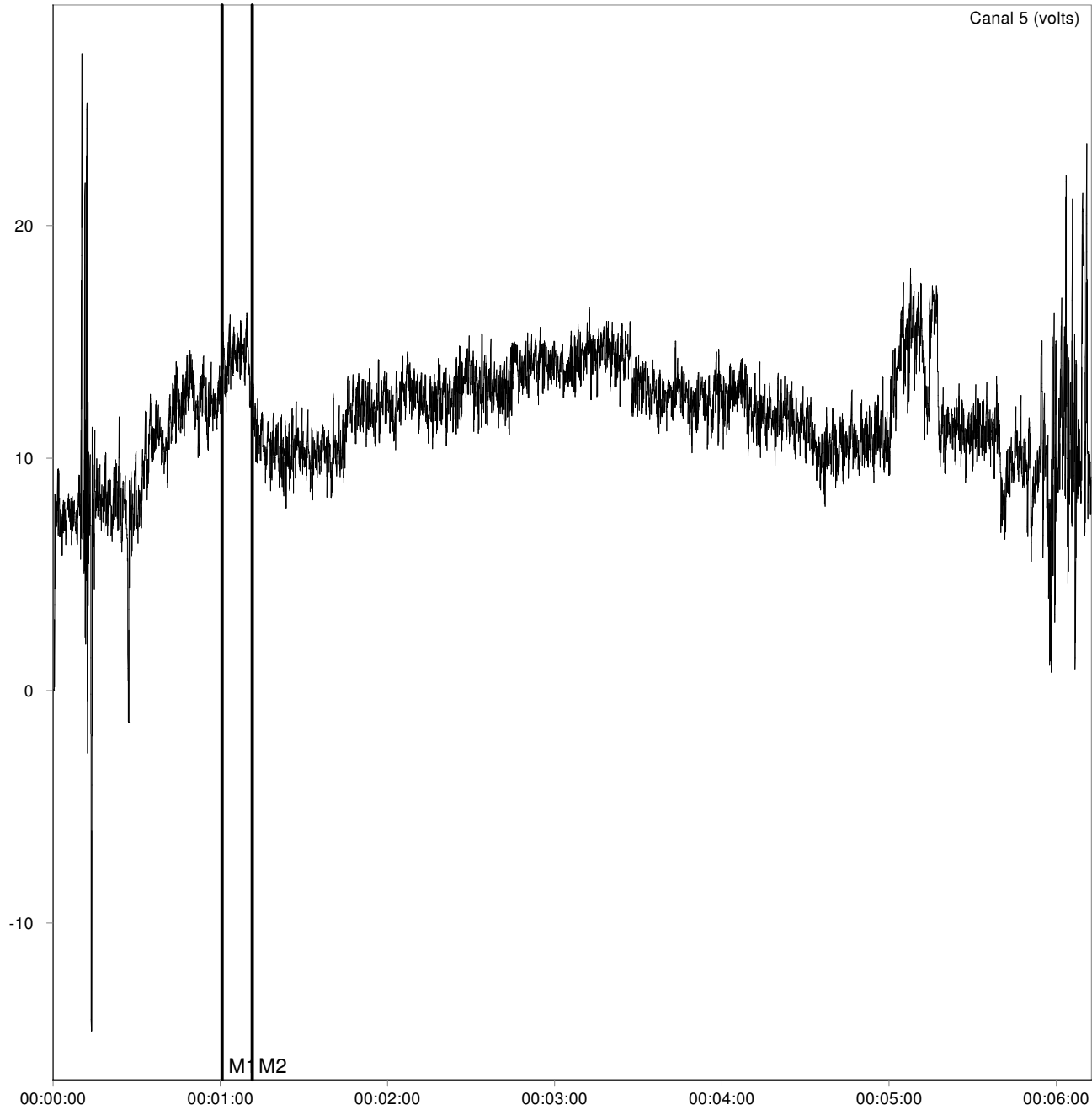
--

Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_2_2 15/05/10 11:16	Canal 5 Time	volts	-14,65 27,38	11,76 12,01	0,00 / 8,93 00:06:11.835

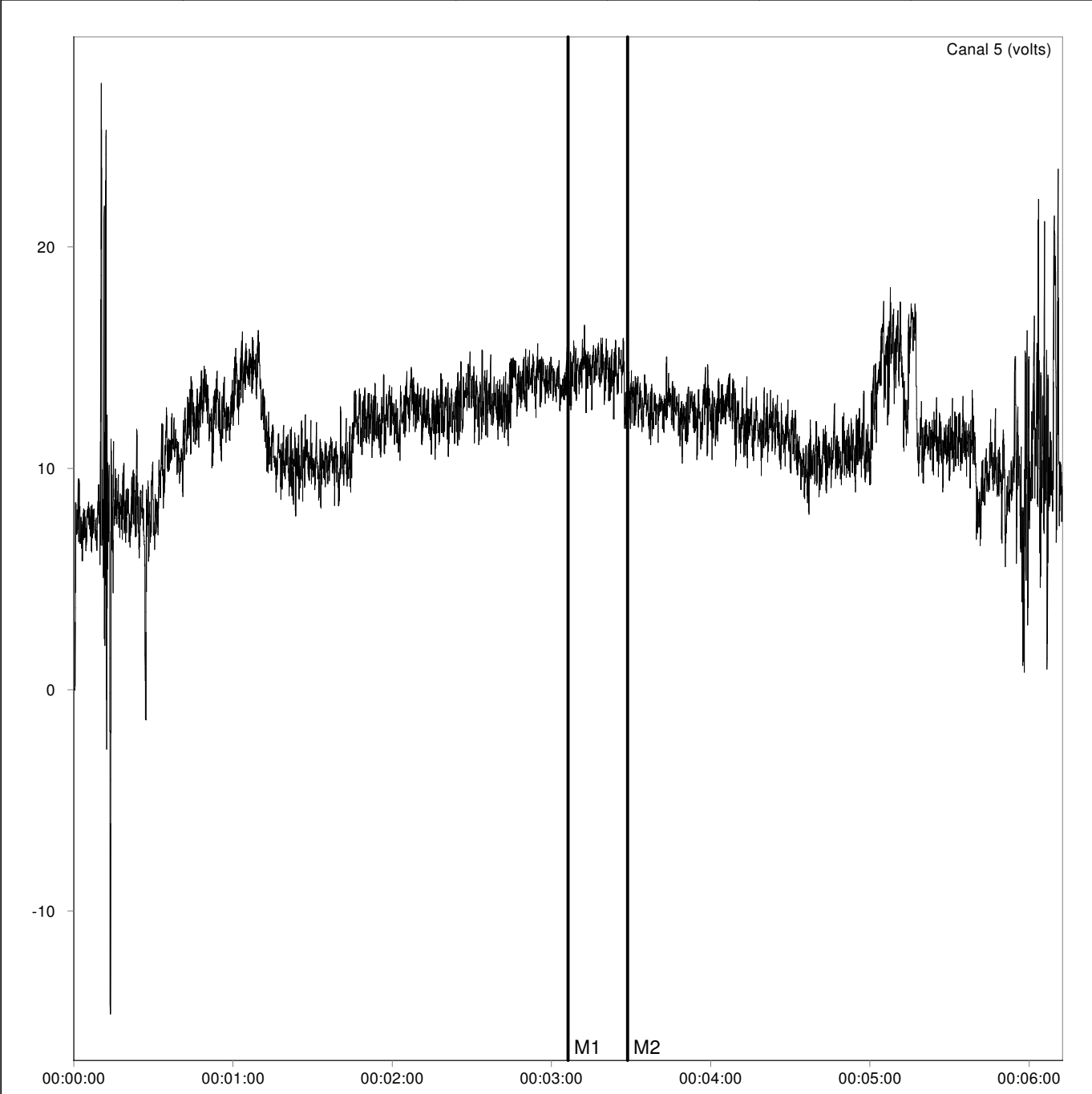


--

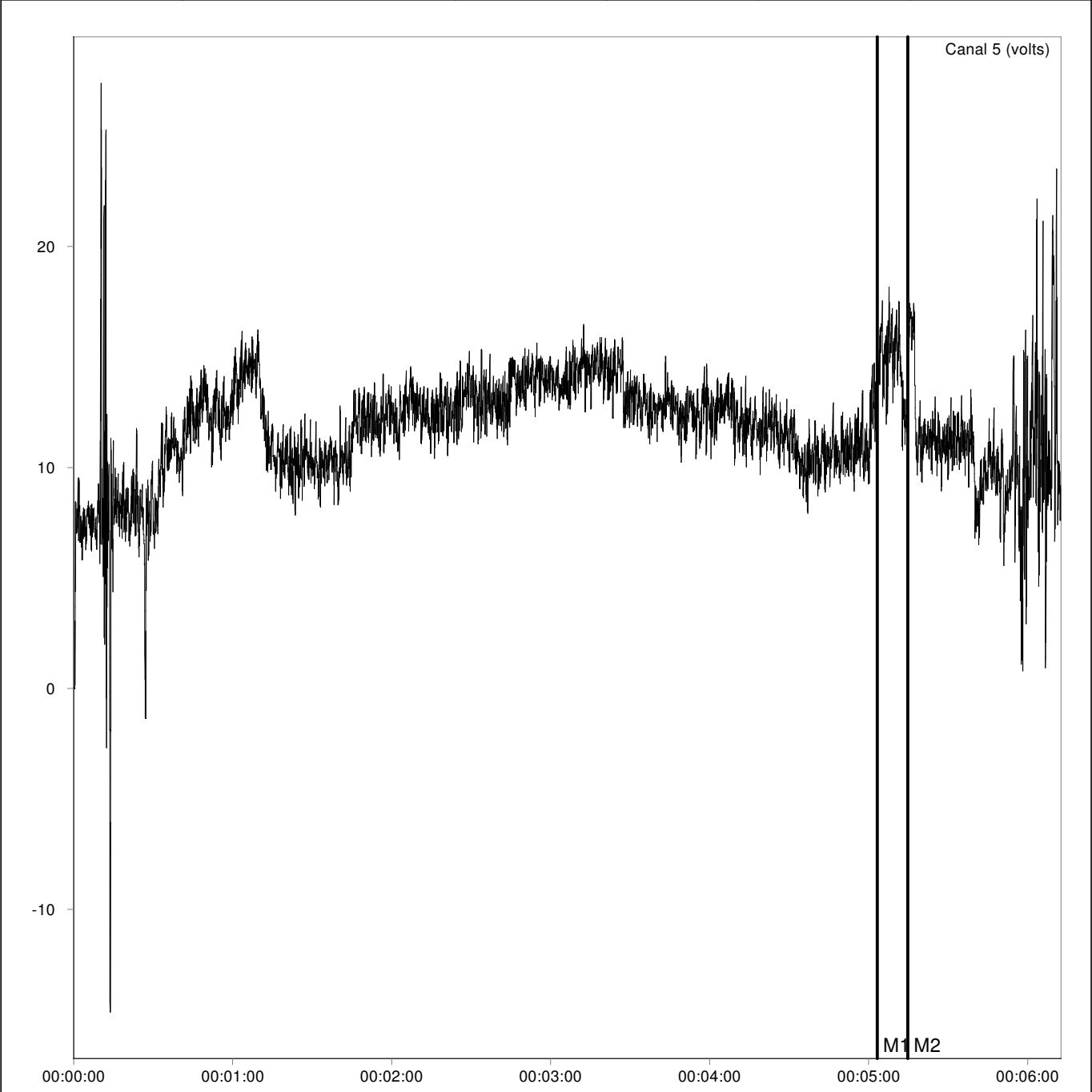
Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_2_2 15/05/10 11:16	Canal 5 Time	volts	11,98 16,22	14,25 14,27	14,99 / 12,10 00:00:10.830



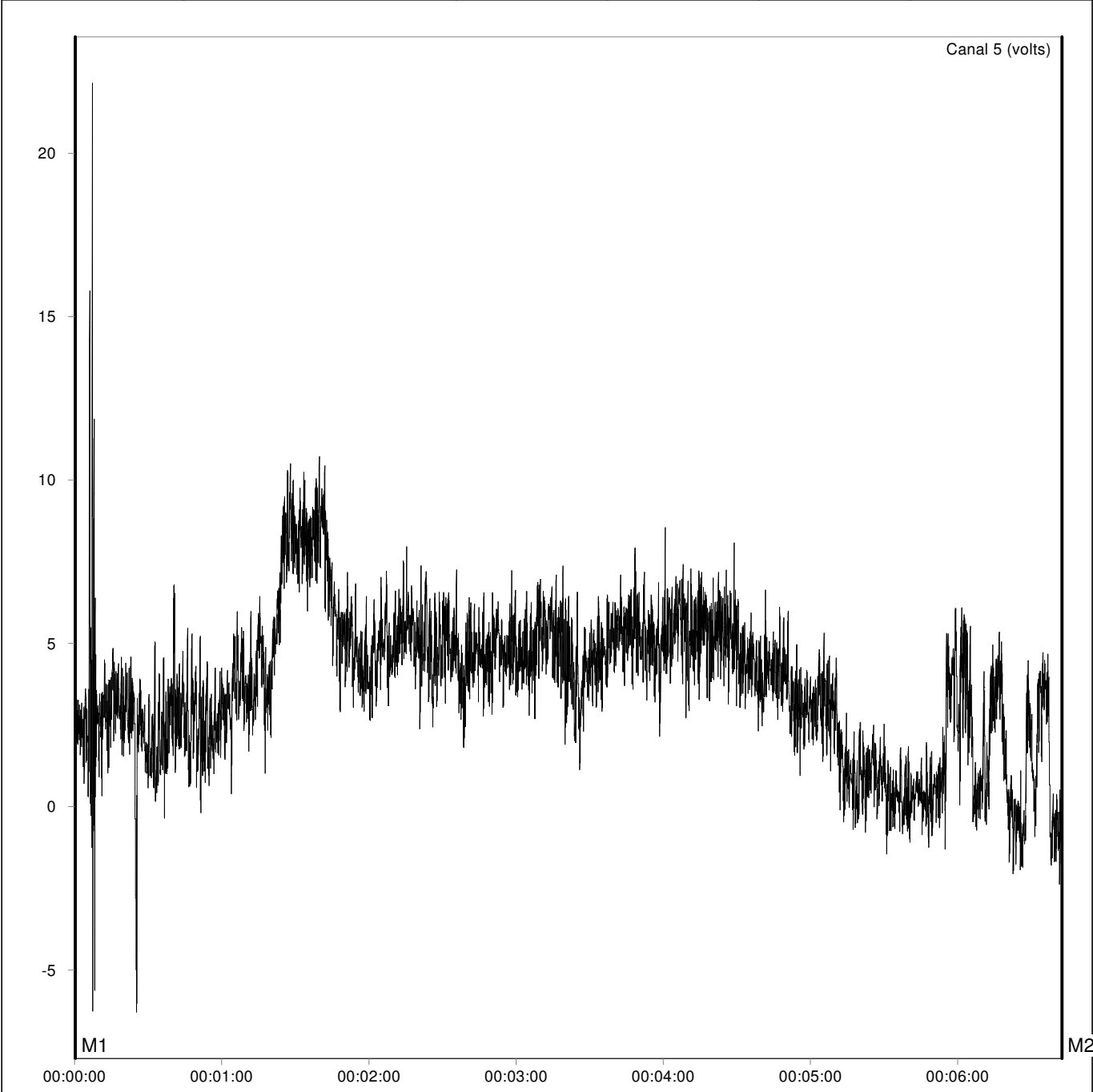
Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_2_2 15/05/10 11:16	Canal 5 Time	volts	11,79 16,48	14,34 14,36	14,78 / 13,02 00:00:22.382



Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_2_2 15/05/10 11:16	Canal 5 Time	volts	10,77 18,17	14,81 14,88	14,36 / 14,31 00:00:11.552

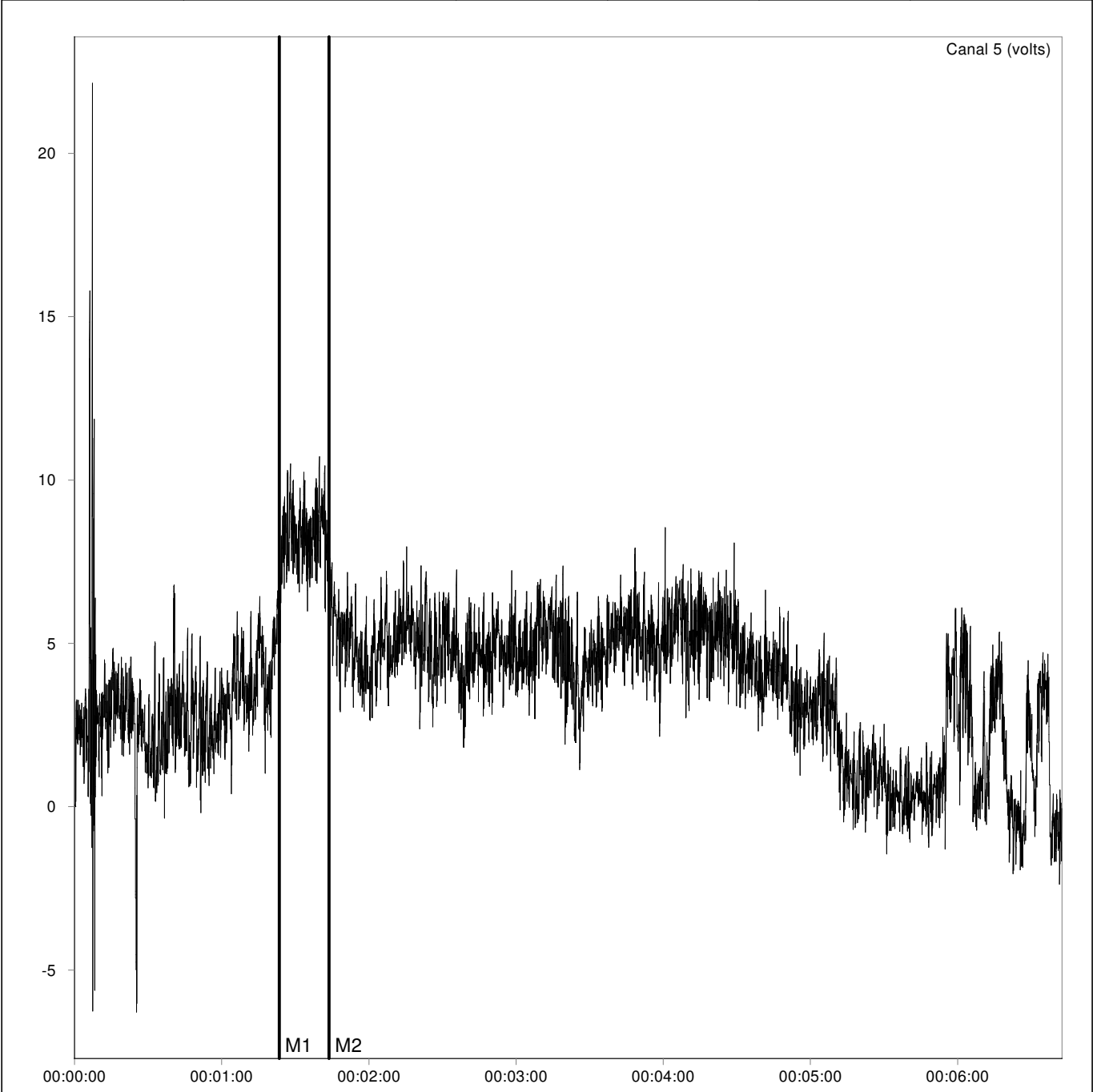


Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_2_1 15/05/10 11:35	Canal 5 Time	volts	-6,29 22,14	3,74 4,36	0,01 / - 00:06:42.185



--

Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_2_1 15/05/10 11:35	Canal 5 Time	volts	5,01 10,72	8,22 8,27	5,01 / 5,83 00:00:20.281



Arquivo	Sinal	Unidade	Min / Max	Média / RMS	M1 / M2 / dT
2010_05_15_1_061_2_1 15/05/10 11:35	Canal 5 Time	volts	2,72 8,07	5,34 5,41	4,62 / 5,44 00:00:30.422

