

# O MECANISMO DE ANTIKYTHERA

POSSIBILIDADES PARA O ENSINO E A  
DIVULGAÇÃO DA ASTRONOMIA

## Uma introdução

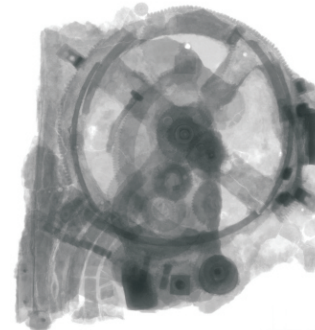
RÉPLICAS DIDÁTICAS SIMPLIFICADAS

WILSON GUERRA



## INTRODUÇÃO

O Mecanismo de Antikythera (ou Anticítera, em português) é um de inúmeros artefatos arqueológicos encontrados no começo do século XX em uma embarcação romana naufragada próximo à ilha grega que deu o nome à máquina. Estudos das inscrições presentes no aparelho apontam que sua construção deve ter ocorrido por volta de 205 AEC. O objetivo e funcionamento do mecanismo só começaram a ser entendidos a partir da metade do século XX, quando imagens de dentro dos fragmentos começaram a ser realizadas por meio de radiografias. As imagens mostraram engrenagens internas de bronze, revelando uma sofisticação técnica surpreendente para a época em que a máquina foi construída. Atualmente se sabe que o Mecanismo de Antikythera era uma máquina de concepção geocêntrica composta por um complexo sistema de engrenagens capaz de prever posições celestes, fases da lua, eclipses e calcular calendários. Suas medidas eram similares as de uma caixa de sapatos, o que lhe garantia mobilidade e facilidade de transporte não muito diferente de um "laptop". Sua face frontal apresentava um painel com ponteiros que indicavam posição do Sol e da Lua em relação às constelações. Há indícios de que os cinco planetas conhecidos na época (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) também tinham seus ponteiros correspondentes. A precisão do aparelho incluía os movimentos retrógrados deste planetas (epiciclos) e as irregularidades da órbita lunar. A face posterior contemplava dois calendários dispostos em inscrições em espiral e seus respectivos ponteiros indicadores: um correspondia a um calendário anual e outro a um calendário de eclipses. A autoria do Mecanismo poder ser de Arquimedes, mas isto ainda não é consenso entre os pesquisadores. Os fragmentos originais, juntamente com propostas de réplicas modernas da máquina, estão no Museu Arqueológico Nacional de Atenas.



## A DESCOBERTA

Em 1901, quando mergulhadores gregos encontraram uma embarcação naufragada, não se tinha idéia dos tesouros que ali se encontravam: estátuas de mármore e bronze, jóias, moedas, ornamentos. Estima-se que a embarcação (que podia ser um navio comercial ou até piratas), afundou entre 60-50 AEC. Mas o que chamou a atenção era uma peça petrificada que expunha claramente uma grande engrenagem. Chegou-se a pensar que se tratava de um relógio mecânico moderno que, por acaso, caiu no mesmo local de alguma embarcação de nossos tempos. Mas quando identificaram a inscrição de uma expressão em grego escrito "raio de Sol", percebeu-se que se tratava de um dispositivo da antiguidade. As primeiras especulações era que fosse um instrumento astronômico ou náutico usado pelos antigos. Mas as suspeitas de que se tratava de algo muito mais complexo não demoraram a aparecer.

## AS ENGRENAGENS

As surpresas surgiram na década de 1950 quando radiografias feitas pelo pesquisador Karakalos mostraram inúmeras engrenagens de bronze nos fragmentos do Mecanismo. Derek Price lançou um estudo detalhado que revolucionou nossa compreensão sobre esta impressionante máquina, em 1974. Eram ao menos 31 engrenagens de bronze que indicavam a posição do Sol e da Lua em relação às constelações, na parte frontal do aparelho. Na parte de trás haviam dois mostradores em forma de espiral: o superior era um calendário e o inferior, um previsor de eclipses!

## O CICLO 19x254

O painel frontal do Mecanismo tinha dois círculos concêntricos totalizando

cerca de 16cm de diâmetro. O círculo mais externo tinha a contagem dos 365 dias do ano, já usados no calendário egípcio. O círculo interno continha as doses constelações zodiacais, aquelas que são ocupadas pelo Sol durante seu movimento anual aparente. Atualmente o Sol percorre 13 constelações devido a um fenômeno que muda a posição do eixo de rotação da Terra (mas não o ângulo), denominado precessão dos equinócios. Mas na antiguidade as constelações zodiacais eram apenas 12.

Na reveladora pesquisa de Derek Solla Price, publicado na década de 1970, o pesquisador propôs que havia um ponteiro que indicava a data e, ao mesmo tempo, mostrava a posição do Sol nas constelações. Outro ponteiro menor indicava a posição da Lua.

Havia uma manivela na lateral da máquina conectada a uma engrenagem em forma de coroa com cerca de 48 dentes. Esta por sua vez transmitia o movimento para a grande engrenagem claramente visível no fragmento maior do Mecanismo. Chamada de B1, esta engrenagem devia ter 226 dentes. Rigidamente conectada a ela estava B2, com 64 dentes, e a partir dela o trem de engrenagens principal fazia girar todo o sistema. A relação de transmissão (taxas de rotação) desse trem de engrenagens era composto de tal forma que a cada 19 voltas em B1 produzia 254 voltas no ponteiro lunar. Isto representa exatamente o 19 ciclos siderais solares (anos) por 254 ciclos siderais da Lua, ou mês sideral (figura 1). Desta forma a máquina reproduzia com precisão a posição do Sol e da Lua no fundo de constelações!

Posteriormente a Price, Michael Wright, engenheiro mecânico e curador de museus de ciência do Reino Unido, descobriu em 2005 mais uma

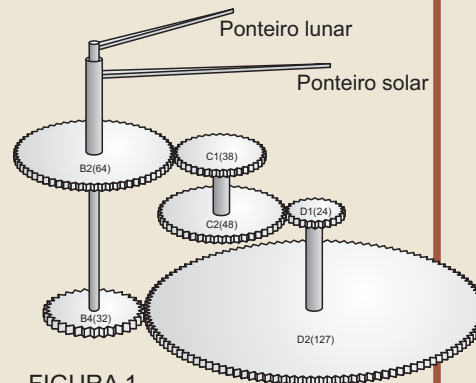


FIGURA 1  
Trem de engrenagens principal  
segundo Price

engrenagem de 32 dentes entre D2 e B4, que tinha a função de fazer com que o ponteiro lunar girasse no mesmo sentido do ponteiro solar.

## AS DESCOBERTAS MAIS RECENTES

A partir de 2000, com a técnica da tomografia computadorizada, foram encontrados detalhes nas engrenagens no Mecanismo. Com a técnica de mapeamento de texturas as descobertas mais recentes incluíram inscrições na superfície do fragmento que permitiram entender mais sobre o mecanismo. Ao todo são mais de 3.500 glifos encontrados.

Para o pesquisador e matemático Tony Freeth, membro de um grupo de pesquisas internacional do Mecanismo (AMRP - Antikythera Mechanism Research Project), o aparelho já estaria completamente compreendido. Mas nem todos os pesquisadores tem a mesma opinião.

## Fases da Lua

Michael Wright descobriu nos anos 2000 que o Mecanismo de Antikythera tinha um recurso para indicar as fases da Lua: uma esfera giratória metade branca e metade preta que mostrava a fase lunar na data apontada pelo ponteiro do Sol. Wright chegou a reconstruir uma réplica do Mecanismo, em bronze, incluindo o dispositivo e engrenagens da fase lunar.

## Anomalia lunar

Devido a órbita lunar não ser perfeitamente circular, mas se aproxima muito de uma elipse, seu movimento pelo céu em relação às estrelas fixas (constelações) não se dá de maneira regular. Ora o movimento da Lua se acelera, ora desacelera, até completar um ciclo e repetir o movimento. Esta irregularidade no movimento da Lua é chamada de **anomalia lunar**, e é conhecida desde a antiguidade.

Tony Freeth percebeu que havia um conjunto de engrenagens no Mecanismo original que eram idênticas em número de dentes, estavam

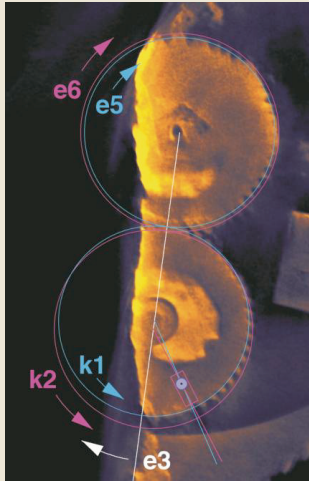


FIGURA 2

tocadas uma na outra mas com uma pequena descentralização. Uma delas possuía um pino e a outra, uma fenda, de modo que se encaixavam. Assim, a rotação da engrenagem com o pino era transmitida de maneira diferencial para a engrenagem com a fenda: o pino na parte mais externa transmitia um movimento desacelerado, e o pino na posição oposta, ficava na parte mais interna, transmitindo uma rotação mais acelerada (figura 2). O conjunto era construído de tal forma que esse sistema simulava exatamente a anomalia lunar! Este conjunto recebeu o nome de engrenagens epicíclicas, e se mostrou tão promissor que os pesquisadores cogitaram que os ponteiros do painel frontal que representavam o movimento dos planetas poderiam usar uma técnica semelhante. As engrenagens para os planetas foram perdidas, mas sabemos que existiram porque as inscrições recuperadas indicam isto, descrevendo inclusive epiciclos (momentos que o movimento de determinado planeta no céu se “inverte”, visto da perspectiva da Terra). Outra evidência de que haviam engrenagens epicíclicas para os planetas são hastes e orifícios de encaixe nos braços da grande engrenagem B1.

## OS CALENDÁRIOS

Na parte posterior do Mecanismo de Antikythera haviam dois calendários elegantemente dispostos em espiral, com relógios auxiliares na parte interna do layout destes painéis.

### Calendário Metônico

É um calendário lunissolar, ou seja, que leva em consideração tanto o movimento do Sol como da Lua. O

calendário judaico é um tipo de calendário lunisolar. Ele distribuía 235 meses sinódicos (período da fase lunar) dispostos ao longo de 19 anos em uma espiral de 5 voltas.

Em seu interior haviam dois relógios auxiliares. O Calíptico indicava quando se deveria descontar algum dia da leitura do calendário, o que lhe dava uma precisão de séculos. E o Olímpico, que indicava os locais dos jogos Pan-Helênicos, de grande importância cultural para os gregos.

### Calendário Saros

O Saros era um previsor de eclipses. Distribuía 223 meses sinódicos (ciclo das fases da Lua) em 18 anos, período de repetição de ocorrência de eclipses. Era dispostos em uma espiral de 4 voltas. Nele haviam inscrições que indicavam se o eclipse apontado era solar ou lunar. No caso dos eclipses lunares, indicava se ocorreria de dia ou de noite, e se era parcial ou total. Ainda apontava uma estimativa do horário de ocorrência do eclipse.

No interior do layout do Saros havia um relógio auxiliar chamado Exeligmos. Ele indicava se era necessário ou não acrescentar 8h ou 16h na leitura do horário apontado no ponteiro do Saros.

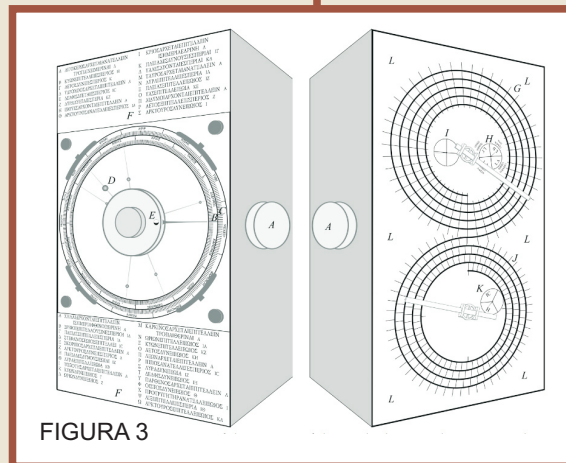


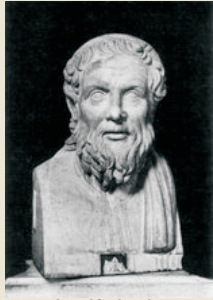
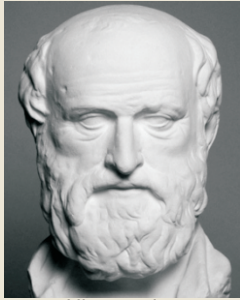
FIGURA 3

## O MECANISMO COMPLETO

A figura 3 traz a aparência final do Mecanismo: na frente o planetário, com ponteiros indicando Sol, Lua, e os 5 planetas conhecidos na antiguidade (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno). Atrás os calendários Metônico e Saros, com seus respectivos relógios auxiliares. O movimento era iniciado pela manivela lateral “A”.

## AUTORIA DO MECANISMO DE ANTIKYTHERA

Escritos de historiadores antigos relatam que Arquimedes

Arquimedes de  
SiracusaApolônio de  
PergaHiparco de  
Nicéia

estaria trabalhando na construção de uma “magnífica máquina do Cosmos”.

Inscrições e datas dos eclipses recuperados indicam que o Mecanismo foi construído por volta

de 205 AEC, data compatível com a vida de Arquimedes. O sábio é assim o principal candidato a projetista da máquina. Mas existe também a possibilidade de que discípulos de uma escola iniciada por Arquimedes possam ser os construtores da máquina. Alguns autores ainda apontam que há chances de que a construção do Mecanismo possa ser atribuída a Apolônio de Perga ou a Hiparco de Nicéia.

### ASPECTOS EDUCACIONAIS

A encantadora sofisticação do Mecanismo de Antikythera o torna um recurso de potencial educacional, é um meio de engajar estudantes e o público geral para as Ciências e a Tecnologia (tabela 1). Estes aspectos da máquina a tornou objeto de estudo que culminou em um projeto no âmbito de Mestrado (PCM-UEM), e que resultou na construção de réplicas didáticas

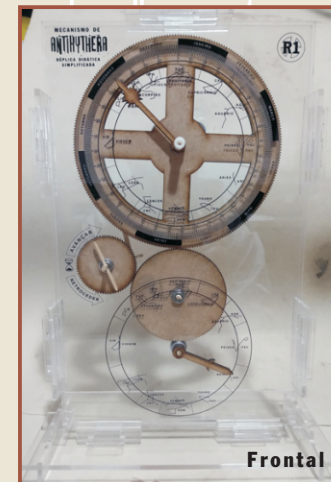
simplificadas do Mecanismo de Antikythera. Devido ao alto grau de complexidade da máquina original, as réplicas propostas reproduzem apenas o painel frontal,

Mecanismo	Conceito abordado	Área do conhecimento
Engrenagens	Relações de rotação/torque	Física/Engenharia
Círculos do painel frontal	Constelações	Astronomia
Indicador da Lua	Fase da Lua	Astronomia
Indicadores dos Planetas	Epíclis	Astronomia
Painel posterior	Eclipses	Astronomia
Movimento dos Planetas	Corpos celestes errantes	Astronomia
Ausência da Terra no painel	Geocentrismo/Heliocentrismo	Astronomia/História
Sol / Lua	Ciclos de tempo	Astronomia/Geografia
Constelações zodiacais	Astronomia <i>versus</i> astrologia	Filosofia da Ciência

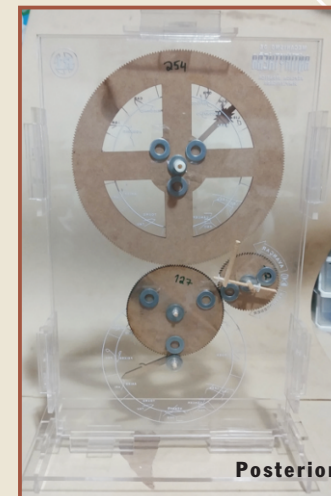
Tabela 1 Alguns aspectos da máquina e os conceitos subjacentes a eles.

com ponteiros do Sol, Lua e, no terceiro modelo, de Vênus, sem o conjunto *pin and slot*. As engrenagens foram feitas em MDF no sistema de corte a laser. O invólucro em acrílico, pelo mesmo sistema. A montagem das réplicas requer um pouco de habilidade e bastante paciência.

### RÉPLICA R1



Frontal

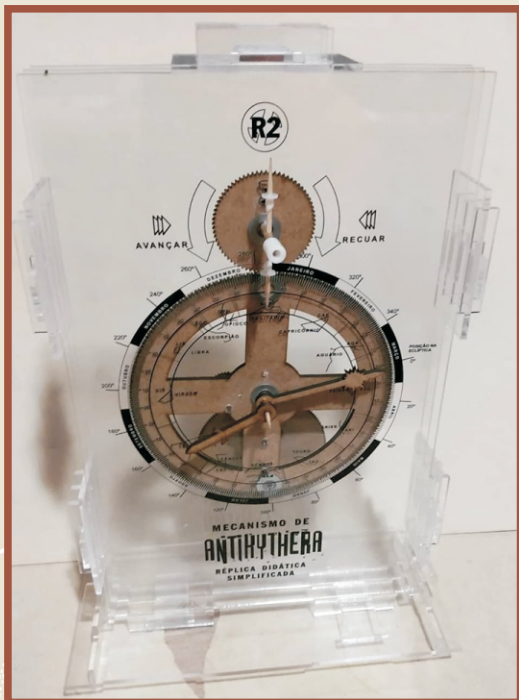


Posterior

Nesta réplica o painel da posição do Sol e da Lua são separados. Esta escolha foi feita em função da simplicidade de sua montagem. A parte superior contempla o mostrador solar, com dois círculos concêntricos, semelhante ao Mecanismo original: o círculo externo traz um calendário anual de 365 dias e 12 meses do ano ocidental moderno; o círculo interno traz as constelações zodiacais que, diferente do Mecanismo original, contempla 13 e não apenas 12 constelações: inclui a de Ofiúco. O mostrador inferior é o lunar e contém apenas o círculo das 13 constelações. A réplica R1 é composta de apenas 4 engrenagem: E1 foi feita com 254 dentes e a E3 com 19. A engrenagem intermediária (E2) ficou com 127 dentes. A engrenagem E0 é conectada a manivela de madeira e destina-se a entrada do movimento, com 72 dentes. Este número é arbitrário.

Rolamentos de 9,8mm de diâmetro com orifício central de 4mm foram encaixados na parte frontal do painel, por onde se fixou eixos (espetos de madeira) que se conectam às engrenagens. A lâmina da parte traseira possui furos de 3mm onde a outra extremidade dos eixos são encaixados. O invólucro do conjunto é de acrílico transparente (29cm x 18cm).

### RÉPLICA R2



A réplica R2 foi projetada para que seu layout seja mais parecido com o do Mecanismo de Antikythera. Por isso, como na máquina original, nesta réplica o painel do planetário é único. Isto implica que ambos os ponteiros partem do mesmo ponto, como em um relógio. As engrenagens seguem o mesmo conjunto do Mecanismo original, exceto pela ausência das engrenagens com sistema pino e fenda (pin and slot).

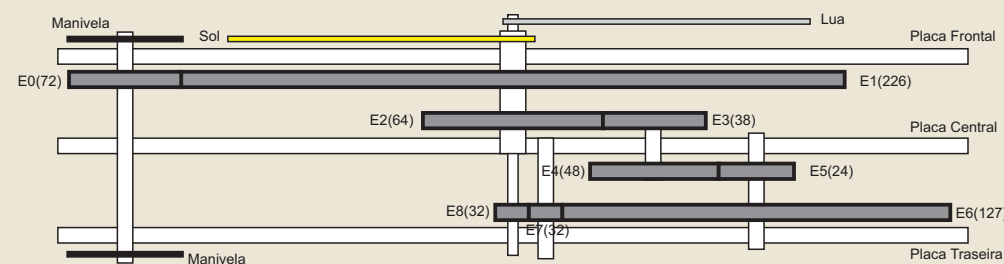
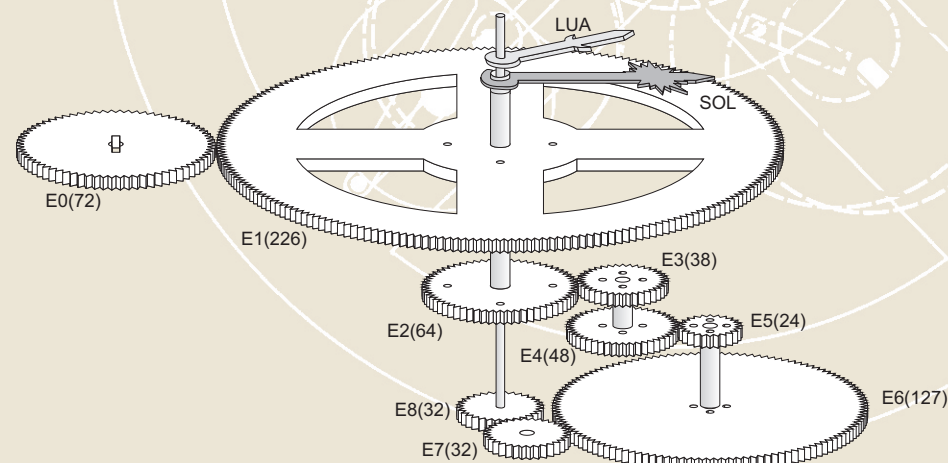
As engrenagens da réplica R2 têm as seguintes características:

- E0: sua função é dar movimento do mecanismo. Possui 72 dentes (valor arbitrário). É conectada a uma manivela e engrenada à E1.

- E1: é a engrenagem solar. Possui 226 dentes, dentro do limite do que foi estabelecido para a engrenagem solar do Mecanismo original (B1).
- E2: rigidamente ligada com E1 por quatro pinos, tem 64 dentes e é a primeira engrenagem que compõe o sistema para o movimento do ponteiro da Lua. O cálculo das relações de transmissão para o sistema lunar começa nesta engrenagem.
- E3: engrenada com E2, possui 38 dentes.
- E4: rigidamente ligada com E3 pelo eixo. Possui 48 dentes.
- E5: engrenada com E4, tem 24 dentes.
- E6: rigidamente ligada com E5 pelo eixo, tem 127 dentes.

- E7: engrenada com E6, tem 32 dentes. Está presente como engrenagem intermediária para "desinverter" o sentido final de rotação do ponteiro da Lua, deixando-o no mesmo sentido do ponteiro do Sol.
- E8: engrenada com E7, é a última engrenagem. Seu eixo se estende até a parte frontal da réplica. O ponteiro da Lua fica fixado em sua extremidade. É idêntica a E7 (32 dentes).

Os eixos das engrenagens E3, E4, E5 e E6 são encaixados em rolamentos com orifício de 4mm de diâmetro. O uso dos rolamentos permitiu um movimento muito mais livre do sistema.



### RÉPLICA R3



A réplica didática simplificada R3 foi concebida para a partir do layout do modelo anterior, ou seja, com o painel do planetário unitário. A diferença é que, além dos ponteiros indicadores do Sol e da Lua, este modelo apresenta também o ponteiro indicador do planeta Mercúrio. Isto torna esta a mais elaborada das réplicas apresentadas aqui.

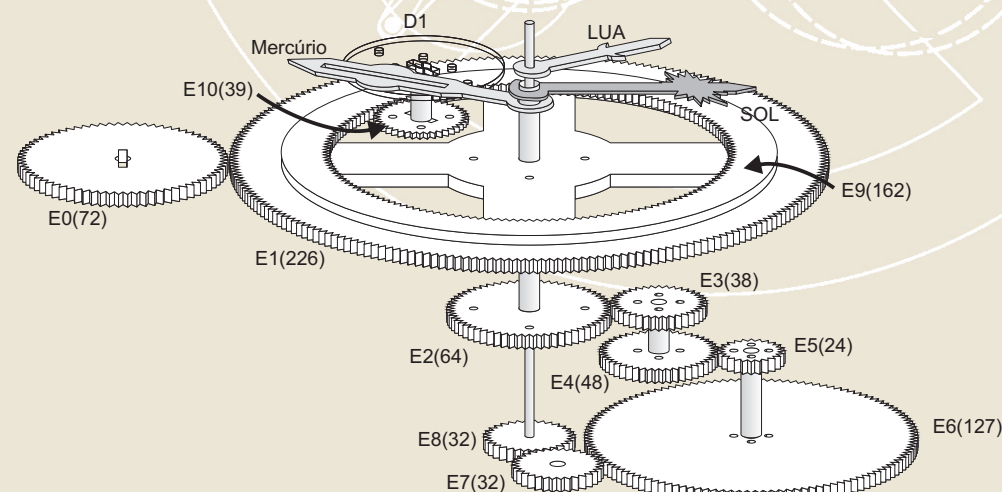
As engrenagens da réplica R3 para a Lua são idênticas as de R2. A diferença fica por conta das engrenagens do planeta Mercúrio. O conjunto das engrenagens epicíclicas para Mercúrio estão no destaque da foto ao lado. Mais rolamentos foram usados nesta réplica para alocar as extremidades dos eixos das engrenagens, afim de deixar o movimento do conjunto o mais livre possível. O rolamento do eixo da engrenagem E1 é maior que os outros, com orifício de 5mm de diâmetro para permitir o encaixe de um tubo de cobre de 5cm que é o eixo de E1.

As partes constitutivas do sistema epicíclico que controla o ponteiro de Mercúrio são as engrenagens E9 e E10 e o disco de acrílico D1.

Foram concebidas da forma como estão apenas para uso nesta réplica. Não estão presentes com esta configuração nas réplicas fiéis do Mecanismo feitas no AMRP, e são inteiramente conjecturais. A engrenagem E9 é de dentes internos, em uma abertura na placa frontal. A engrenagem E10 e o

disco de acrílico D1 são rigidamente ligados pelo eixo. Este eixo é fixado no rolamento alocado no orifício apropriado na engrenagem E1. As engrenagens E9 e E10 são conectadas pelos seus dentes (E10 fica dentro de E9).

A engrenagem E9, de denteção interna, exigiu uma grande abertura no painel frontal. Isto deixaria a extremidade externa do eixo da engrenagem E1 sem apoio. Foi necessário um suporte auxiliar no painel da réplica R3: uma haste de acrílico horizontal com um orifício central onde se fixou um rolamento de abertura de 5mm, como mostra a foto superior da página 6. No centro da haste a extremidade externa do eixo de E1 pode ser encaixada. Sobre a estrutura que fixa a haste no painel foi também acrescentada uma borda circular de acrílico para manter o ponteiro de Mercúrio sempre no mesmo plano. Sem esta borda circular, o ponteiro tenderia a desencaixar-se do pino do disco de acrílico D1.



# O MECANISMO DE ANTIKYTHERA

RÉPLICAS DIDÁTICAS SIMPLIFICADAS

WILSON GUERRA

