

OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA UNIVERSIDADE DO PORTO

MONTE DA VIRGEM — VILA NOVA DE GAIA

PORTUGAL

Digitização do Círculo Meridiano de
Espelho do Observatório Astronómico
da Faculdade de Ciências do Porto

POR

ROGÉRIO S. S. NUNES

PORTO

Imprensa Portuguesa

1966



B)
20(469.13)(04)
NUN

Digitização do Círculo Meridiano de
Espelho do Observatório Astronómico
da Faculdade de Ciências do Porto

OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA UNIVERSIDADE DO PORTO
MONTE DA VIRGEM — VILA NOVA DE GAIA
PORTUGAL

Digitização do Círculo Meridiano de Espelho do Observatório Astronómico da Faculdade de Ciências do Porto

POR
ROGÉRIO S. S. NUNES



PORTO
Imprensa Portuguesa
1966

Extracto do Vol. XLIX
dos
«Anais da Faculdade de Ciências do Porto»

DIGITIZAÇÃO DO CÍRCULO MERIDIANO DE ESPELHO DO OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO DA FACULDADE DE CIÊNCIAS DO PORTO

Ao Professor Sarmiento de Beires

— *Introdução.*

O Círculo Meridiano de Espelho é, neste momento, o instrumento central do Observatório e destina-se a observações fundamentais de Astronomia de Posição.

O resultado numérico das observações obtém-se por leitura dos dois círculos de declinação, montados no eixo central do instrumento e dos tambores de declinação e ascensão recta de cada um dos dois micrómetros do aparelho.

Como o eixo se encontra afastado do observador cerca de uma dezena de metros e a observação directa dos $4 + 4$ microscópios de leitura dos dois limbos, mesmo dispondo de outro observador, trazia dificuldades, recorreu-se ao registo fotográfico automático das 8 leituras. Posteriormente, após a revelação do filme, cada fotografia é medida num microscópio micrométrico manual,

Desde há anos que temos esboçadas algumas técnicas de medição automática dos filmes de declinação, recorrendo a servo-mecanismos, ou semi-automáticas, em que o ajuste se faz à mão, a bissecção fotoelèctricamente e o registo digitalmente.

Nos dois tambores de cada micrómetro o registo faz-se, ainda neste momento, também fotogràficamente. No tambor de declinação é o observador que actuando num botão dispara um relâmpago que ilumina e permite fotografar o tambor graduado, e ainda faz avançar o filme. No de ascensão recta são os impulsos de duplo

segundo da pêndula de observação que disparam o relampejador e, automaticamente, fazem avançar o filme: deste modo ficamos com as posições do fio móvel — que bissecta a estrela observada — em instantes conhecidos.

As primeiras fotografias foram obtidas com lâmpadas relampejadoras — as que então havia no mercado — cuja tensão de trabalho era da ordem dos 2 KV, ligadas a complicados e volumosos circuitos envolvendo lâmpadas rectificadoras de vapor de mercúrio, temporizadores, condensadores de grandes dimensões, etc. E como medida de segurança as lâmpadas eram colocadas a cerca de 1 m de distância do observador sendo a luz canalizada através de um sistema de espelhos ou, chegou a planear-se, por uma conduta de perpex. Com o aparecimento de pequenas lâmpadas relampejadoras com uma tensão de trabalho da ordem dos 300 volts e utilizando semicondutores, foi possível realizar um circuito satisfatório no que respeita às condições de montagem e à segurança do observador.

Porém, em ambos os casos, visto o impulso escorvador do relâmpago ter uma amplitude da ordem dos 10 KV e ser obtido num gerador de muito elevada impedância interna — e por isso inofensivo para o observador — sempre que havia condensação do vapor de água, surgiam irregularidades no funcionamento. Soluções envolvendo o aquecimento do micrómetro não podiam ser consideradas.

No que respeita à precisão, a técnica fotográfica do registo das observações que usamos, satisfaz perfeitamente. Apresenta porém o inconveniente de só se dispor do resultado da observação mais tarde, após delicadas e monótonas operações de revelação, fixação e secagem.

A partir da década de 40, com os trabalhos de Shannon e as primeiras experiências sobre a transmissão da informação em P. C. M. (Pulse-Code Modulation) os métodos digitais de transmissão e recolha da informação tem vindo a substituir os métodos analógicos.

Com a construção dos primeiros computadores digitais comercializados, o tratamento digital da informação começou a generalizar-se.

Actualmente, em consequência do extraordinário desenvolvimento que os microcircuitos tem sofrido nos últimos três anos, surgiu a terceira geração dos computadores automáticos e com ela uma autêntica explosão, estendendo a todos os domínios da actividade científica os métodos digitais electrónicos de observação e control de sistemas.

Os métodos digitais de observação, colheita e transmissão dos resultados — o aspecto da digitização de que aqui nos ocupamos — além de praticamente ilimitados no que respeita à precisão e praticamente alheios ao efeito das perturbações («noise») que sempre os meios de transmissão e de tratamento injectam na informação sob a forma analógica, tem a grande vantagem de nos entregar *imediatamente*, sob a forma numérica decimal, o resultado da observação, bem como um registo ⁽¹⁾, sob a forma digital binária (convenientemente codificada) daquelas observações, desde logo preparado para ser recebido e tratado num computador.

Outras vezes o resultado das observações é directamente canalizado para o computador que, após o seu tratamento numérico, em «tempo real», executa o control das operações que se seguem (observações programadas, «on line»).

Numa primeira fase, há uns anos atrás, pensamos em digitizar sòmente os tambores de ascensão recta dos micrómetros do C. M.

Utilizando um disco com cerca de 15 cms de diâmetro, construído por nós, provido de 500 traços alternadamente opacos e transparentes, montado no veio do tambor do micrómetro e capaz de converter o movimento de rotação numa série de impulsos eléctricos obtidos a partir de 2 fototransístores montados diametralmente opostos, obtivemos resultados animadores. Porém, por falta de pessoal que desse sequênciac aos ensaios, tivemos que interromper as experiências.

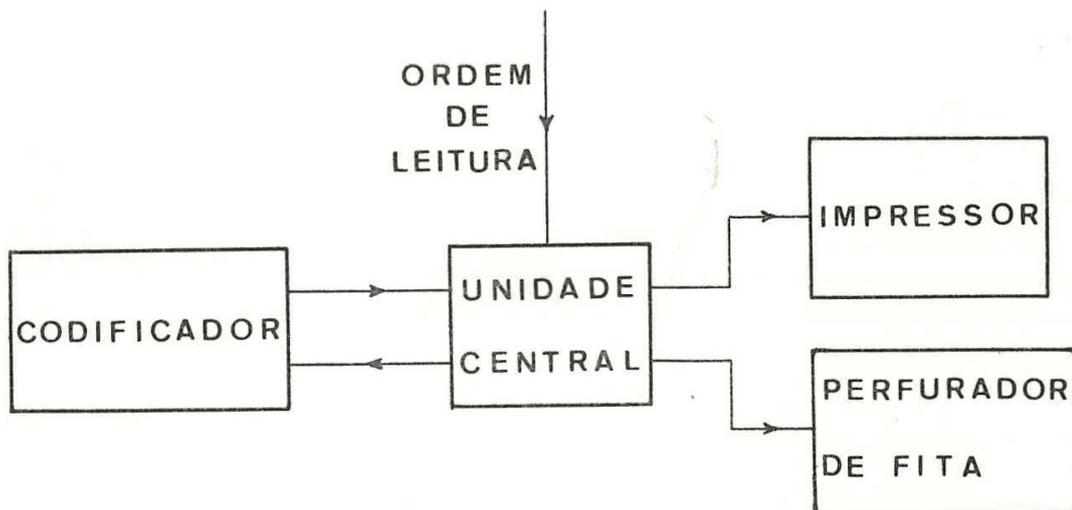
(1) Em fita perfurada, cartões perfurados, fita magnética, etc.

Entretanto foi possível dispor de um subsídio da NATO para aquisição, no comércio, de um equipamento de digitização dos tambores de ascensão recta e declinação dos micrómetros.

A digitização do dispositivo de leitura dos limbos de declinação, nosso próximo objectivo, e sem dúvida de mais difícil realização, está em estudo. Do nosso contacto pessoal com a casa fornecedora do actual equipamento dos micrómetros esperamos que surja a solução mais conveniente.

— *Esquema geral do equipamento.*

Esquemáticamente o equipamento será constituído por 4 codificadores, uma unidade central tratadora de informação, um impressor e um perfurador de fita.



A unidade central trabalha com um codificador de cada vez, sendo a escolha feita pelo observador.

Por uma ordem de leitura — um impulso — a unidade central recebe a informação digital da posição do disco nesse instante e após o seu tratamento electrónico e através do impressor e do perfurador de fita, fornece o resultado digital, na base dez, da observação realizada.

— *Algumas considerações estatísticas sobre as avarias do equipamento.*

Fundamentalmente podemos considerar dois tipos de avarias: avarias aleatórias e avarias devidas ao desgaste do material

O nosso equipamento de digitização constará de uma parte electromecânica e outra puramente electrónica.

A parte electromecânica, constituída por uma máquina impressora eléctrica e por uma perfuradora de fita e ainda, possivelmente pelo codificador de posição do tambor, se bem desenhada e trabalhando nas condições fixadas pelo fabricante, sofrerá avarias, praticamente, devidas ao desgaste do material e portanto previsíveis...

Os circuitos electrónicos, utilizando semicondutores, quando devidamente dimensionados são, praticamente, isentos de desgaste e as suas avarias podem considerar-se de natureza puramente aleatória. Pela complexidade e extensão que em geral apresentam os sistemas digitizados, convém que se conheça o seu comportamento estatístico.

Consideremos uma variável aleatória ξ , representativa do número de vezes que dado equipamento avaria num determinado intervalo de tempo Δt .

Designemos por $P_k(\Delta t)$ a probabilidade de v. a. ξ tomar o valor de k , isto é de se darem k avarias naquele mesmo intervalo, e suponhamos que satisfaz às três seguintes condições:

$$1.^{\circ} - P_1(\Delta t) = \lambda \cdot \Delta t + O(\Delta t), \text{ com } \lambda \text{ constante (positiva) e} \\ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{O(\Delta t)}{\Delta t} = 0.$$

$$2.^{\circ} - P_k(\Delta t) \leq \mu_k \cdot \Delta t^{\alpha_k} + O(\Delta t^{\alpha_k}), \text{ para } k > 1 \text{ onde } \{ \mu_k \} \\ \text{é uma sucessão monótona crescente e tal que } \alpha_{k+1} - \alpha_k > \delta > 0 \text{ e} \\ \alpha_2 < 1; \{ \mu_k \} \text{ é uma sucessão de termos positivos e limitada;} \\ \frac{O(\Delta t^{\alpha_k})}{\Delta t^{\alpha_k}} \text{ converge uniformemente para zero quando } \Delta t \rightarrow 0.$$

3.^o — O número de acontecimentos realizados em intervalos de tempo disjuntos são representáveis por v. a. independentes.

Nestas condições, pode mostrar-se, a variável ξ é uma variável de POISSON, sendo a lei de probabilidade dada por

$$P(\xi = k) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

onde, como é sabido, λt representa o valor médio de ξ e portanto λ o valor médio de ξ por unidade de tempo.

É nosso propósito aplicar esta lei de probabilidade ao estudo do comportamento futuro e da escolha do nosso equipamento. Antes de continuarmos, analisemos a sua aplicabilidade.

A primeira hipótese é razoável: a probabilidade de ocorrer uma e só uma avaria num intervalo de tempo Δt é proporcional (assimptoticamente) à sua duração.

A segunda, com um aspecto muito «abstracto» fixa condições de suficiência para verificação da igualdade

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=2}^{\infty} P_i(\Delta t)}{\Delta t} = 0$$

que se tem de verificar quando do estabelecimento da lei de probabilidade de POISSON com o aspecto que lhe estamos a dar. Ora, é razoável aceitar que, num intervalo de tempo *suficientemente pequeno*, a soma das probabilidades de que se dêem duas ou mais avarias é menosprezável quando comparada com a probabilidade de ocorrência de uma, e só uma, avaria.

Com respeito à 3.^a propriedade, ela nem sempre se verificará. Algumas vezes sucede nos circuitos electrónicos que a falha de um componente implica sobrecarga em outros o que pode acelerar a nova avaria. Um bom dimensionamento do circuito evitará a ocorrência de tais situações.

Aceitaremos então, e a prática confirma-o, que as avarias aleatórias do nosso equipamento podem ser descritas pelo esquema que desenvolvemos.

Ora, pode mostrar-se que se o número de avarias que ocorrem num intervalo de tempo t é representável por uma variável de

POISSON de valor médio λt , então o intervalo de tempo que medeia entre duas avarias consecutivas é uma variável aleatória τ , contínua, cuja função de densidade de probabilidade é

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & / t \geq 0 \\ = 0 & / t < 0 \end{cases}$$

e cujo valor médio é $\frac{1}{\lambda}$, isto é, o inverso do valor médio do número de avarias que ocorrem por unidade de tempo e que costuma designar-se por M T B F (Mean Time Between Failures).

A análise da função de densidade de probabilidade mostra que a probabilidade de ocorrer uma avaria em intervalos de tempo iguais, vai decrescendo com o envelhecimento.

Este resultado está de acordo com a experiência diária de quem lida com circuitos electrónicos. Os primeiros dias de funcionamento dum circuito são os mais críticos. E pelo facto de nos primeiros tempos de funcionamento ocorrerem algumas avarias não é razão, em geral, para rejeitar um equipamento. Como medida de precaução quase todos os fabricantes, além de outras testes, sujeitam os seus produtos a um certo envelhecimento.

Costuma aferir-se o comportamento de um sistema, no que respeita a avarias, por um factor de confiança — «Reliability» — definido por $R = e^{-\lambda t}$ e que mede a probabilidade de que o sistema funcione sem avarias durante um tempo t .

Das considerações que acabamos de fazer podemos concluir que, após certo uso do equipamento, a probabilidade de ocorrência de uma avaria mecânica é maior do que a de uma avaria electrónica. Esta afirmação é ainda de verificação diária nos grandes centros de cálculo numérico. Já hoje são anunciados computadores cujas unidades centrais, apesar de extremamente complexas, tem M T B F iguais a 30 anos!... E maior é a admiração se atendermos a que em 1964 o valor daquele parâmetro era somente de 300 horas e se previa para 1967 um valor de 1 300 horas e para 1973 o valor 9 000 horas!...

— *Codificadores.*

Há dois tipos fundamentais de codificadores utilizáveis em montagens do género da nossa: discos mecânicos e discos ópticos.

Os primeiros dispõem de uma série de pequenas escovas que se apoiam em outras tantas pistas do disco onde estão embutidas pequenas lâminas metálicas, alternando com espaços em «branco» segundo um determinado código. Cada posição do disco é definida (a menos de um «quantum», que caracteriza a sua sensibilidade) pelo estado de condução eléctrica de cada uma das escovas: as escovas em contacto com as lâminas metálicas estão em condução e as outras em circuito aberto.

Nos discos ópticos existem pistas com pequenas regiões transparentes, alternando com outras opacas, segundo um determinado código. Associada a cada pista há uma pequena célula fotovoltaica sobre a qual incide a luz proveniente de uma lâmpada, montada na proximidade, sempre que a região interposta é transparente. O conjunto das tensões de saída das diversas células, caracteriza a posição do disco.

O primeiro tipo é sujeito a desgaste e exige certos cuidados de conservação que no segundo não existem.

Se convenientemente montados e usando circuitos adequados, os codificadores ópticos são, em princípio, menos sujeitos a avarias do que os mecânicos. Uma vez a funcionar em boas condições, em princípio, não põem mais problemas, enquanto que os mecânicos, com a aproximação do fim da sua vida, pelo menos, começam a criar dificuldades.

No caso dos mecânicos a dificuldade introduzida pela sua vida limitada, remedeia-se pela sua substituição; a questão está em nos apercebermos do momento em que tal substituição se deverá fazer.

Há casas de renome mundial, a Datex na América, por exemplo, que continuam a aconselhar o uso de codificadores mecânicos. O caminho futuro a seguir porém, parece ser o da solução óptica tentando remediar os inconvenientes que ainda apresenta.

— Códigos.

Os códigos binários típicos são o binário puro, o decimal binário 8, 4, 2, 1 (B C D — Binary Coded Decimal) e o código de Gray.

Dum modo geral o código binário puro usa-se nos computadores digitais, o B C D usa-se sempre que há problemas de mudança de base $2 \leftrightarrow 10$ e o de Gray é o exemplo típico de um código *monostrofico*.

Nota: Um disco codificador da posição de um veio, por exemplo, por muito bem acabado que seja, não garante que duas ou mais escovas liguem ou desliguem, *exactamente*, na mesma posição. Tal facto pode conduzir a resultados errados.

Porém, se as sucessivas posições diferirem apenas de um só bit, aquele inconveniente desaparece. Os códigos que realizam esta condição dizem-se *monostroficos*.

Quase todos os fabricantes de equipamentos digitais tem o seu código monostrofico.

Número Decimal	Binário Puro	B C D 8, 4, 2, 1	Gray
0	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001
2	0010	0010	0011
3	0011	0011	0010
4	0100	0100	0110
5	0101	0101	0111
6	0110	0110	0101
7	0111	0111	0100
8	1000	1000	1100
9	1001	1001	1101
10	1010	1000	1111
11	1011	1000	1110

— Redundância.

Muitas vezes o principal inconveniente das avarias, está em se tomar por bons, resultados que estão errados.

Existem várias técnicas de detecção dos erros resultantes do mau funcionamento do equipamento. Todas elas utilizam códigos

cujas possibilidades de representação dos resultados excedem as necessidades e, portanto, são susceptíveis de satisfazer a condições suplementares que permitirão exercer um control.

Suponhamos por exemplo que, como realmente acontece no nosso caso, pretendíamos um código binário capaz de representar os dez algarismos da base dez, 0, 1, 2, . . . 8, 9.

O número x de bits necessário para representar qualquer dos dez algarismos é tal que

$$2^x = 10$$

isto é

$$x = \log_2 10 = 3,32$$

Assim 3 bits não chegam ($2^3=8$) e 4 já excedem as necessidades.

Se designarmos por N_1 o número de bits utilizados por um código e por N o número de bits necessários para representar os elementos de que dispomos, chama-se *coeficiente de redundância* R desse código à quantidade

$$R = \frac{N_1 - N}{N_1} = 1 - \frac{N}{N_1}$$

Se usarmos sucessões de 4 bits para representar os algarismos decimais, tem-se $N_1=4$, $N=3,32$ vindo

$$R = 1 - \frac{3,32}{4} = 0,17$$

Como já atrás vimos existem vários códigos binários de 4 bits para representar os dígitos. Embora para eles seja $R=0,17 > 0$ não é praticável qualquer acção de control.

Uma das formas de control por redundância é a da paridade a qual não só permite o control como até, em formas evoluídas, corrige o erro.

Um dos modos mais simples do control da paridade pode fazer-se, por exemplo no B C D, acrescentando aos 4 bits necessários à representação dos dígitos um 5.º bit (o bit da paridade) de maneira que o número de bits iguais a, 1 em cada dígito, seja sempre ímpar.

Se fixarmos o bit da paridade na posição mais significativa, teremos o seguinte código B C D com paridade:

Digito	B C D com P
0	10000
1	00001
2	00010
3	10011
4	00100
5	10101
6	10110
7	00111
8	01000
9	11001

Assim, se a probabilidade de obter um erro no código B C D for, por exemplo 10^{-6} , a probabilidade de um erro passar despercebido depois do control da paridade é cerca de 10^{-12} .

Nas fitas perfuradas de 5 canais usa-se muitas vezes este código redundante. Com as fitas de 8 canais é possível, inclusive, corrigir o erro.

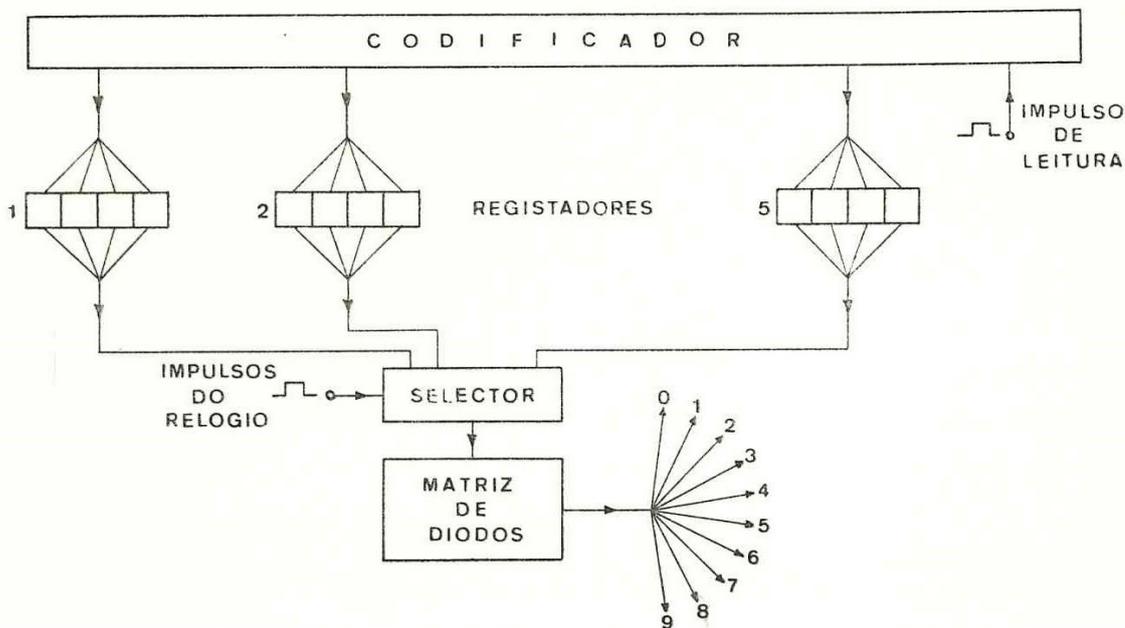
— *Alguns pormenores sobre a lógica de um possível equipamento.*

A posição do fio móvel do micrómetro será fixada por um número de 5 algarismos, compreendido entre zero e 100.

Cada codificador será constituído por dois discos codificados: um ligado directamente ao veio e permitindo a apreciação da fracção da volta com a sensibilidade do milésimo e o outro, ligado ao primeiro, através de um desmultiplicador por 100, permitindo apreciar a volta e a dezena de voltas.

Nestas condições e dado que, naturalmente, se usará um código decimal binário, a transferência da informação do codificador para a unidade central far-se-á por meio de $4 \times 5 + 1 = 21$ condutores, se o codificador for do tipo óptico, haverá ainda a juntar os condutores para alimentação do sistema óptico e amplificadores.

Como já atrás dissemos a transferência da informação far-se-á à ordem de um impulso: no caso do tambor de declinação esse impulso resulta do premir de um botão por parte do observador; no caso do de ascensão recta os impulsos são os sinais sucessivos de duplo segundo da pêndula de observação.

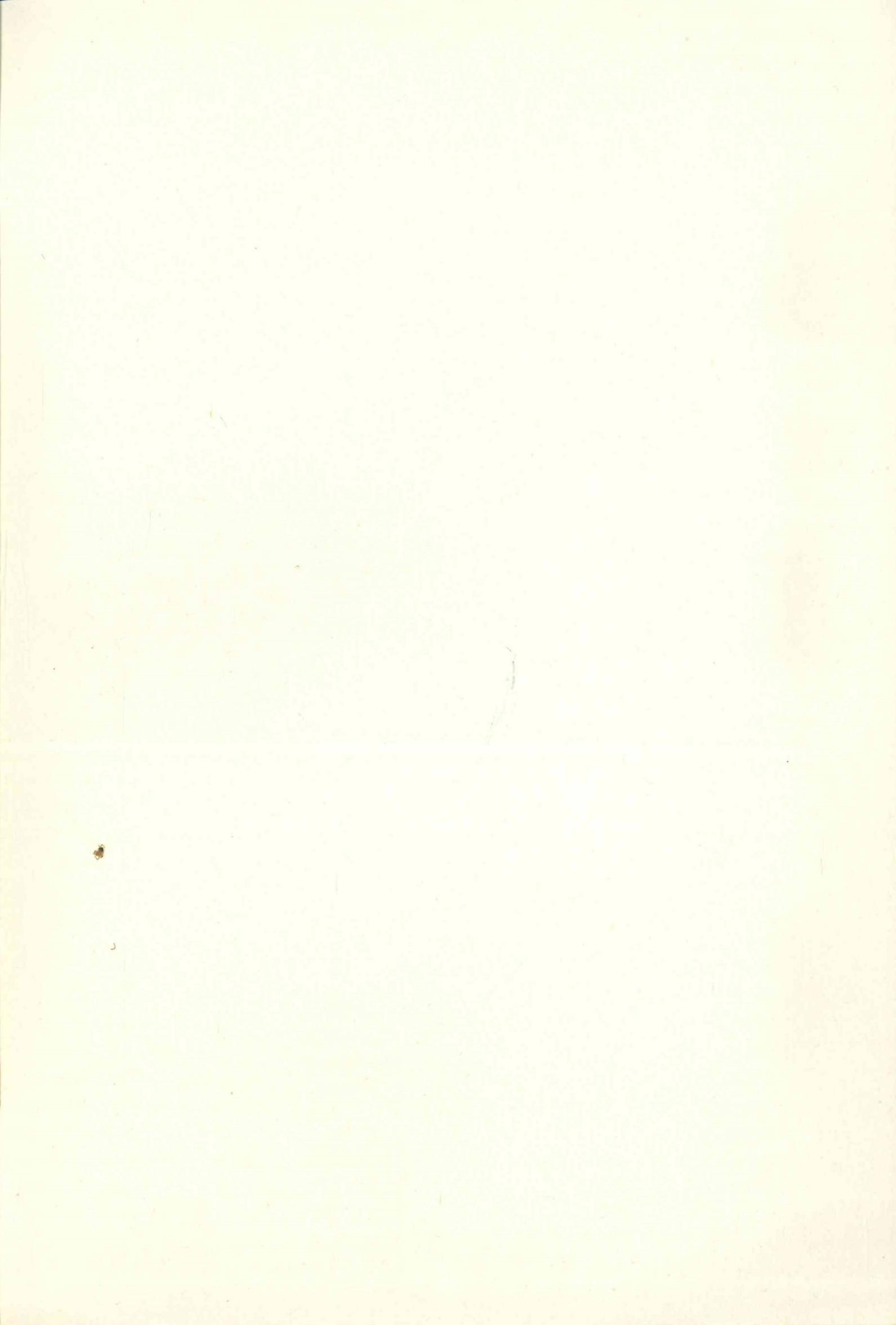


A informação é transferida sob a forma paralela, todos os 20 bits simultaneamente, para um grupo de 5 registadores (electrónicos) de 4 bits cada um, onde aquela é retida, pelo menos durante o registo.

Estes 5 registadores estarão ligados a um selector electrónico que à ordem de 5 impulsos consecutivos do relógio ⁽¹⁾, os liga sucessivamente a uma matriz de díodos conversora do código binário em código decimal, de 4 entradas e 10 saídas, cada uma das quais fica ligada à correspondente tecla da máquina de escrever.

Se pretendermos somente perfurar fita, a matriz de díodos é desnecessária, ficando o selector directamente ligado ao perfurador.

(1) Oscilador local cuja frequência depende do equipamento electromecânico usado e em geral é da ordem da dezena de ciclos por segundo.



PUBLICAÇÕES DO
OBSERVATÓRIO ASTRONÓMICO
DA FACULDADE DE CIÊNCIAS DO PORTO

- 1 — *As Coordenadas do Observatório da Serra do Pilar*, por M. G. Pereira de Barros, 1944, 14 págs.
- 2 — *Dispositivos para Movimento Mecânico dum Micrómetro Impessoal*, por M. G. Pereira de Barros, 1944, 14 págs.
- 3 — *Um Aparelho para Determinação da Equação Pessoal nas Observações Meridianas de Hora*, por M. G. Pereira de Barros, 1944, 10 págs.
- 4 — *Sobre o Projecto do Observatório Astronómico da Faculdade de Ciências do Porto*, por M. G. Pereira de Barros, 8 págs.
- 5 — *Registo Fotográfico das Observações Meridianas*, por M. G. Pereira de Barros, 1944, 62 págs.
- 6 — *Micro-Indicador Eléctrico*, por R. S. de Sousa Nunes, 1957, 4 págs.
- 7 — *O Círculo Meridiano da Faculdade de Ciências do Porto*, por M. G. Pereira de Barros, 1957, 94 págs.
- 8 — *A Conservação da Hora no Observatório da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto*, por R. S. de Sousa Nunes, 1958, 220 págs.
- 9 — *Unidade Visual para Recepção de Sinais Horários*, por R. S. de Sousa Nunes, 1959, 12 págs.
- 10 — *Cronógrafo Magneto-Digital*, por R. S. de Sousa Nunes, 1959, 16 págs.
- 11 — *Small Transit Instrument Without Pivot Errors*, por M. G. Pereira de Barros, 1959, 4 págs.
- 12 — *Estudo da Variação da Colimação num Instrumento de Passagens*, por Maria José Couto Galhano, 1960, 8 págs.
- 13 — *A Teoria do Instrumento de Passagens*, por M. G. Pereira de Barros, 1960, 124 págs.
- 14 — *On the Flexure of a Transit Instrument*, por M. G. Pereira de Barros, 1960, 4 págs.
- 15 — *Estudo dos Erros dos Passos dos Parafusos dos Micrómetros do Círculo Meridiano*, por M. F. Soares Barbosa, 1964, 12 págs.
- 16 — *The Mirror Transit Circle of Porto*, por M. G. Pereira de Barros, 1964, 8 págs.
- 17 — *Os Satélites Artificiais em Geodesia*, por José Pereira Osório, 1964, 98 págs.
- 18 — *Transit Instrument Without Pivot Errors*, por M. G. Pereira de Barros, 1965, 8 págs.
- 19 — *The Evaluation of the Geopotential*, por José Pereira Osório, 1965, 18 págs.
- 20 — *Sectorial Harmonics of the Earth's Gravitational Potential*, por José Pereira Osório, 1965, 3 págs.
- 21 — *Digitização do Círculo Meridiano de Espelho do Observatório da Faculdade de Ciências do Porto*, por Rogério S. S. Nunes, 1966,

biblioteca
municipal
barcelos



16004

Digitalização do Círculo
Meridiano de Espelho do O