

2299171

80  
81  
(0,170)  
Jho. Madureira

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE FORMATURA

PROJETO BÁSICO DE UM PROJETOR  
PARA SIMULAÇÃO ANALÓGICA

Autor: Ivan Nandor Szmuł

Orientador: Prof. Oscar Moore de  
Madureira

## SUMÁRIO

	Pg.
Introdução.....	I
Estudo de Viabilidade	
Necessidade.....	1
Formulação do Projeto.....	3
Síntese de Possíveis Soluções.....	4
Exequibilidade Física.....	7
Valor Econômico.....	8
Viabilidade Financeira.....	8
Projeto Básico	
Projetor Digital.....	11
Projetor Analógico.....	13
Projetor Analógico, detalhamento	
Sistema de sujeição.....	15
Mecanismo Motor.....	17
Conjunto Motor.....	17
Sistema Direcional.....	19
Freios.....	19
Ajustes.....	20
Comandos.....	20
Operação.....	22

## INTRODUÇÃO

Inúmeras são as possibilidades de aplicação de um aparelho de simulação. Em qualquer ramo de atividades onde haja necessidade de se controlar um mecanismo ou aparato que exija um certo grau de perícia por parte de um condutor ou operador, pode-se melhorar tanto o nível de segurança como o desempenho geral por meio de uma simulação adequada como adestramento.

Vamos dirigir a nossa atenção neste trabalho, aos veículos autonotores em particular, ou seja, estudaremos a possibilidade de desenvolver um simulador para condução de veículos motorizados em geral.

Primeiramente faremos um estudo de viabilidade para depois escolhermos uma solução adequada.

Finalmente, faremos o detalhamento de construção e análise de funcionamento do aparelho considerado mais adequado, levando-se em conta duas premissas principais: simplicidade e baixo custo de produção.

## ESTUDO DE VIABILIDADE

### NECESSIDADE

Existem vários setores onde sentimos que um aparato de simulação poderia ser útil:

a.- Em Auto-Escolas. Muitas horas de prática em veículo real poderiam ser economizados através de simulação. O aluno aprenderia a maioria das manobras no aparelho. Balisa, faixa, procedimentos em vias de uma e duas mãos de direção e cruzamentos, são exemplos. Uma importante série de procedimentos até hoje impossíveis de serem realizados fariam parte do treinamento normal do aspirante. São as atitudes e manobras sob condições críticas. Para exemplificar citaremos algumas:

- freagem em pista escorregadia
- curvas em pista escorregadia
- curvas em alta velocidade
- toda uma série de manobras de correção de curva devido a atitudes erradas sobre pista escorregadia

b.- Uma nova área de atividades abre-se assim, que não se enquadram na categoria de auto-escolas propriamente, ou seja, cursos de aperfeiçoamento para motoristas já habilitados.

Grande numero de acidentes ocorrem devido ao simples fato de a pessoa não saber o que deveria ter sido feito em certas situações não comuns. Através de um simulador apropriado o indivíduo poderia assimilar estas atitudes que de outra forma não poderiam ser praticados em um veículo real sem grandes gastos.

c.- Automobilismo desportivo. Com a participação de destaque dos pilotos brasileiros nos circuitos do " Grand-Frix " de fórmula-1, o automobilismo nacional ganhou novo impulso. É grande o numero de categorias e pilotos que militam este desporto atualmente no país. A competitividade é grande. Qualquer vantagem conta. Com a ajuda de um simulador bem desenvolvido, sensível e fiel ao comportamento de um carro na pista, o piloto poderia gozar da vantagem de conhecer o percurso detalhadamente com antecedencia, podendo assim, aproveitar melhor o escasso tempo disponível para treinamento durante a cronometragem oficial antes da largada. Com um maior aperfeiçoamento, através de um projeto bem refinado de certos componentes do simulador, poder-se-ia chegar a um ponto tal que o piloto poderia prever certos "acertos" no seu automóvel para determinada pista por analogia aos ajustes efetuados no aparelho simulador.

d.- Brinquedo. Como a grande maioria dos projetos, este também visa à obtenção de lucros. Acreditamos

que o campo de entretenimentos seja o mais promissor de todos. Baseamo-nos no sucesso que vem tendo brinquedos no mesmo ramo, sen que tenham os minimos recursos básicos para que pudessem ser chamados de "corrida de automoveis". Nenhum deles dispõe do controle direcional do carro.

#### FORMULAÇÃO DO PROJETO

Existe uma série de pré requisitos básicos para que um simulador possa ser útil em todas as funções mencionados acima.

- 1.- Deve reproduzir com fidelidade o comportamento de um carro na pista.
- 2.- Disponha de certas regulagens de modo a adaptar-se aos diversos traçados:
  - 2.1.- A posição do centro de gravidade na direção longitudinal.
  - 2.2.- Momento de inercia em relação a um eixo que passa pelo C.G.
  - 2.3.- Atrito com a pista: para que se possa reproduzir situações de pista escorregadia, molhada ou seca, bem como para adaptar-se ao tipo de pneus utilizados no automóvel real. Pneus mais ou menos moles trabalham com atritos diferentes.
- 3.- Permita a participação simultânea de vários pilotos. Isto se torna especialmente importante no caso

em que se quer praticar ultrapassagens, no caso das corridas; atitudes de evasão e controle do automóvel em situações de trânsito no caso das auto - escolas e finalmente para o caso do simulador ser utilizado como brinquedo, a participação de mais de um concorrente torna o aparelho mais convidativo.

4.- Permita uma troca de "pista" ou percurso com relativa simplicidade.

5;- Convém que os componentes do aparelho sejam elétricos ou eletrônicos evitando assim, mecanismos pneumáticos que podem colaborar para tornar o aparelho demasiado complexo.

#### SÍNTSESE DAS POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Diversas soluções alternativas surgiram nesta fase do trabalho. Primeiramente vamos simplesmente enumerá-los para em seguida explicá-los brevemente:

- a.- Carro rádio- controlado com processador digital
- b.- Carro rádio -controlado analógico
- c.- Projetor digital
- d.- Projetor analógico
- e.- Tela digital
- f.- Carro analógico movido por ímãs

Faremos em seguida uma rápida exposição do que consiste cada um dos ítems acima.

a.- Uma plataforma ou chasis provido de um sistema de roletes que permitiria movimentos com os três graus de liberdade requeridos seriam os componentes básicos deste simulador. Todos os movimentos do carrinho sobre a pista seriam efetivados por meio de motores elétricos instruídos por um microprocessador central a bordo, que por sua vez receberia os sinais correspondentes aos comandos básicos por meio de rádiocomando. Derrapagens, travamento de rodas e outras situações seriam programados e armazenados no computador a bordo. Sub-programas adequados permitiriam escolher entre os diversos "acertos" o qual melhor se adaptar à pista em questão.

b.- Neste caso o modelo consistiria de um verdadeiro "carrinho miniatura". A propulsão seria efetuada por meio de um motor elétrico. Controle direcional e freios seriam acionados por sistemas de servo-mecanismo. Desprovido de processador, o modelo reagiria à pista com o seu próprio peso. Pneus cambiáveis. Um sistema de contrapesos móveis serviriam para acertar o centro de gravidade. A energia de propulsão deveria ser armazenada a bordo. Outros tipos de regulagens poderiam ser efetuadas de forma análoga ao veículo real.

c.- Este aparato consistiria de um projetor de imagens que no caso estaria focando a vista em planata do automóvel real em miniatura. A imagem projetada disporia de movimentos nos três graus de liberdade necessários para uma simulação apropriada. Um miniprocessador controlaria o sincronismo destes movimentos.

d.- Também consistiria de um projetor análogo ao descrito no item "c", porém os movimentos da imagem seriam provenientes de mecanismos que funcionariam baseados na lei do atrito, por meio de roletes, que reproduziriam as reações de um carro na pista através de uma conveniente disposição dos mesmos.

e.- Neste caso a pista seria forrada com lâmpadas homogeneamente distribuídas. Um computador central ordenaria o acender e apagar destas lâmpadas de forma a reproduzir um movimento do carrinho. Também neste caso as reações do veículo seriam comandadas pelos programas previamente armazenados. A escolha conveniente de sub-rotinas proporcionaria uma adequada escolha dos diferentes acertos no automóvel.

f.- Nesta última solução o carrinho seria propulsado e dirigido por meio de um tapete de ímãs dispostos convenientemente sob a pista. O ligar e desligar destes ímãs seria efetuado por um processador, mas o carrinho se comportaria de forma analógica sobre a pista. As reações de acordo com os diversos ajustes e acertos seriam dependentes de parâmetros como: peso, posição do centro de gravidade, tipo de pneus, altura de suspensão etc.

#### EXEQUIBILIDADE FÍSICA

Depois de uma rápida análise, concluímos que as soluções apresentadas nos ítems "a" e "b" na fase de escolha de soluções, embora pareçam exequíveis à primeira vista, devem ser descartadas. O problema é que em ambos os casos a energia de propulsão deveria ser armazenada a bordo dos modelos. Acontece que na atualidade ainda não dispomos de pilhas ou baterias com peso e tamanho suficientemente reduzidos, capazes de fornecer a energia necessária durante um tempo razável, para propulsionar os modelos a uma velocidade correspondente ao real em escala.

#### VALOR ECONÔMICO

As soluções "e" e "f" são exequíveis fisicamente, porém não nos parecem possuir um valor econômico que seja compatível com a disposição de aquisição do comprador. O motivo pelo qual chegamos a esta conclusão não é exclusivamente pelo fato de ambos necessitarem de um processador, para ligar e desligar as lâmpadas no caso da solução "e", ou para ordenar a atuação dos electroimãs no caso da solução "f", mas principalmente devido ao custo da mão-de-obra necessária para a instalação de centenas desses componentes e suas respectivas ligações de uma forma ordenada. Por outro lado, querendo-se evitar a mão-de-obra seria imperativo projetar e instalar máquinas cuja amortização exigiria um alto preço de revenda do produto, principalmente no nosso caso por tratar-se de baixa a média produção, pelo menos a curto prazo.

#### VIABILIDADE FINANCEIRA

Parece-nos que tanto a solução "c" como a "d" poderiam ser viáveis financeiramente. Embora o projetor digital necessite de um processador, cremos que é possível projetar-se um sistema lógico e produzir-se um circuito correspondente por um custo razoável, hoje, aqui no Brasil. Analisaremos a seguir estas duas possibilidades, em maior profundidade.

## PROJETO BÁSICO

Primeiramente achamos conveniente ilustrar algumas das características operacionais e funcionais comuns para ambas as possibilidades. Em seguida faremos uma análise mais detalhada de cada uma delas para realizarmos a opção mais adequada.

Básicamente os dois sistemas podem ser visualizados como a composição de três partes principais:

1.- Um foco luminoso e conjunto de lentes, formando

um sistema ortodoxo de projeção de imagens por diapositivo.

2.- Um mecanismo de "suspenção" que permite a mo-

vementação do projetor e consequentemente da imagem, nos três graus de liberdade exigidos.

Com isto a imagem do carro poderá efetuar movimentos de translação, paralelamente ao seu eixo longitudinal, e movimentos de rotação em torno de um eixo que passa pelo carro e é perpendicular à pista.

3.- Um conjunto ou mecanismo motor que atuando so-

bre o projetor, movimenta-o convenientemente,

obedecendo aos comandos à disposição do piloto

Ambos os sistemas possuem características operacionais vantajosas em comum:

- Como a simulação deverá ser feita em um recinto semi-escuro, a troca de pistas ou circuitos a serem percorridos, consiste na simples permutação da tela de projeção onde encontra-se gravado o percurso.

Uma segunda opção no caso seria a utilização de um projetor secundário fixo, cuja finalidade seria apenas a de focar na tela a pista escolhida gravada em diapositivo.

Uma terceira possibilidade seria o uso de uma "tela" transparente. Neste caso os simuladores trabalhariam por detrás da tela, permitindo assim que toda a área ocupada pelos participantes ficasse desobstruída.

- A participação simultânea de vários pilotos é obtida simplesmente focalizando diversos projetores sobre a mesma tela (figura 1).

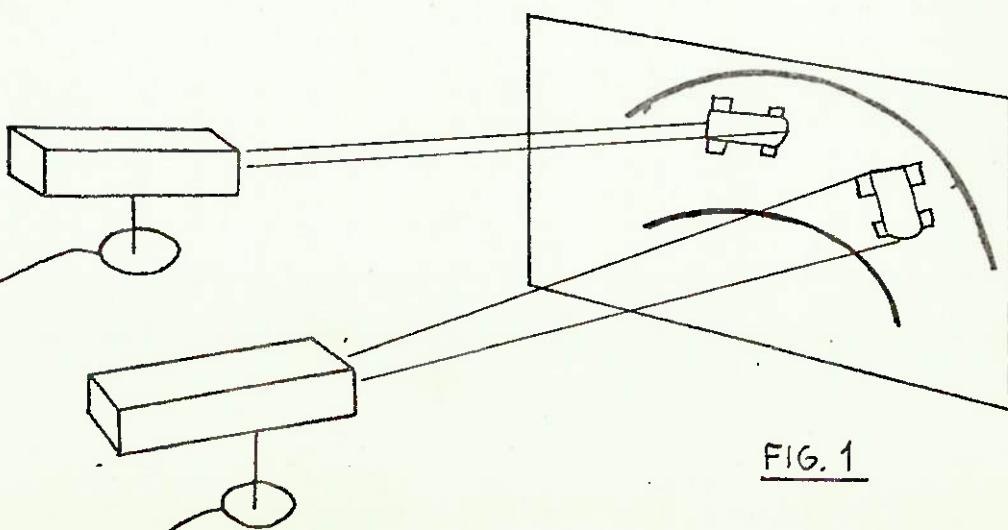


FIG. 1

- A indicação de "choque entre veículos" é facilmente detectada visualmente, como a zona comum às duas imagens com luminosidade mais forte e de coloração distinta a ambos. (figura 2).

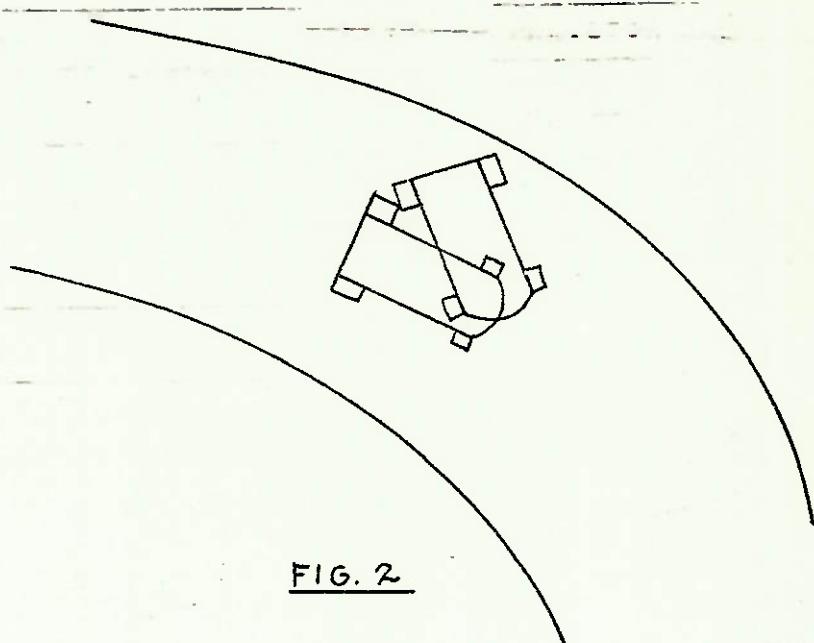


FIG. 2

Percebe-se que a diferença básica entre os dois sistemas encontra-se na maneira de transformar-se os comandos emitidos pelo participante em impulsos e finalmente em movimentos que reproduzam o comportamento de um carro em pista.

#### PROJETOR DIGITAL

Mostramos em seguida um esquema que ilustra a

forma básica de operação do sistema que utiliza um processador digital (figura 3).

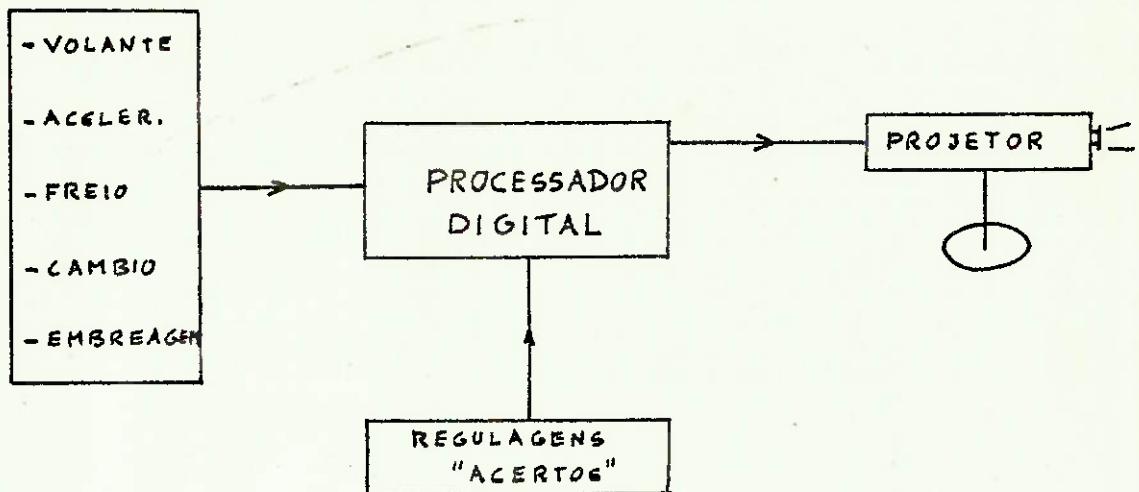


FIG. 3

A grande vantagem deste sistema é também o seu maior empecilho: o processador. Por um lado o uso de um computador permite o uso de todos os controles de um automóvel real incluindo embreagem e câmbio. A resposta da imagem pode ser profundamente semelhante à situação real. Acertos e ajustes de suspensão, por exemplo, poderiam ser efetuados com um simples aperto de botões que selecionaria a sub-rotina adequada para o caso. Apenas para ilustrar, citaremos o caso do ajuste do "grau de estabilização" da suspensão dianteira, que consiste em variar a influência de movimento de "molejo" de uma roda sobre a outra, ajustando-se uma arti-

culação que trabalha como barra estabilizadora mais ou menos rígida. Um carro com menor grau de estabilização dianteira, é um carro mais "mole" na frente, provocando maior aderência nesta parte do veículo e em consequência ele sairá de traseira nas curvas. Dezenas de outros ajustes poderiam ser programados, desde tipo de pneus até relação de marchas, permitindo assim, como dissemos acima, uma reprodução fiel à realidade.

O problema é que em primeira análise a concretização de tal processador parece-nos inviável. Não só no que se refere ao "hardware" ou seja o aparelho físico em si, mas principalmente devido ao "software". Seria necessário realizar um completo programa de testes no carro real para chegar-se a um conhecimento profundo da inter-relação dos diversos parâmetros envolvidos, já que uma solução matemática parece-nos impossível. Por isto, decidimos arquitetar um sistema mecânico análogo que possa responder com uma razoável fidelidade.

#### PROJETOR ANALÓGICO

Na figura 4, vemos o diagrama que ilustra o modo de funcionamento deste sistema. Como veremos adiante,

foi nos possível, por meio de um mecanismo bastante simples conseguirmos prever uma resposta analógica bastante fiel.

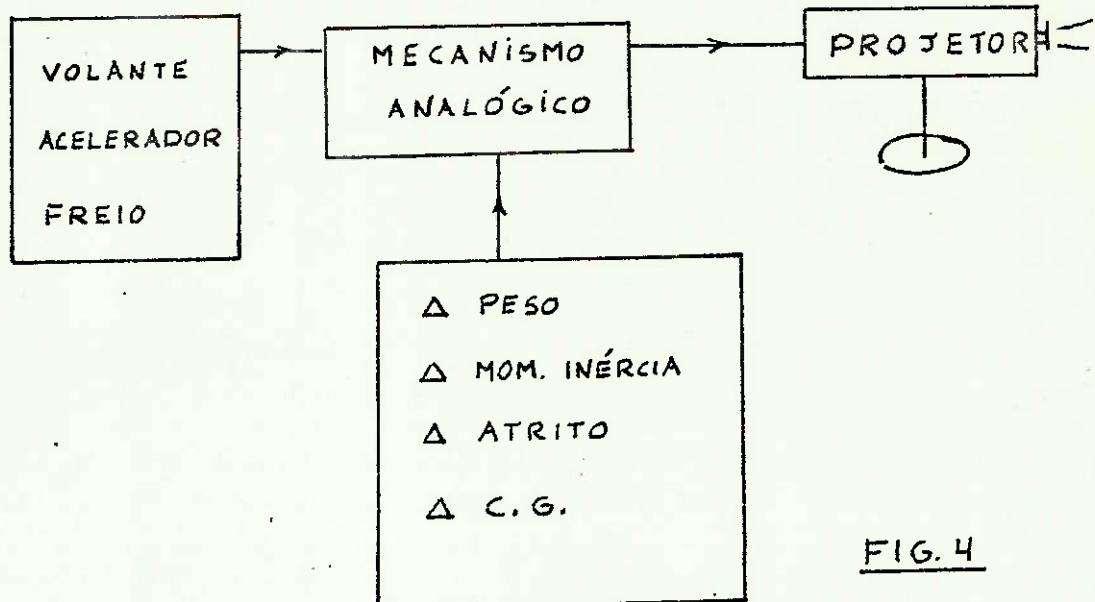


FIG. 4

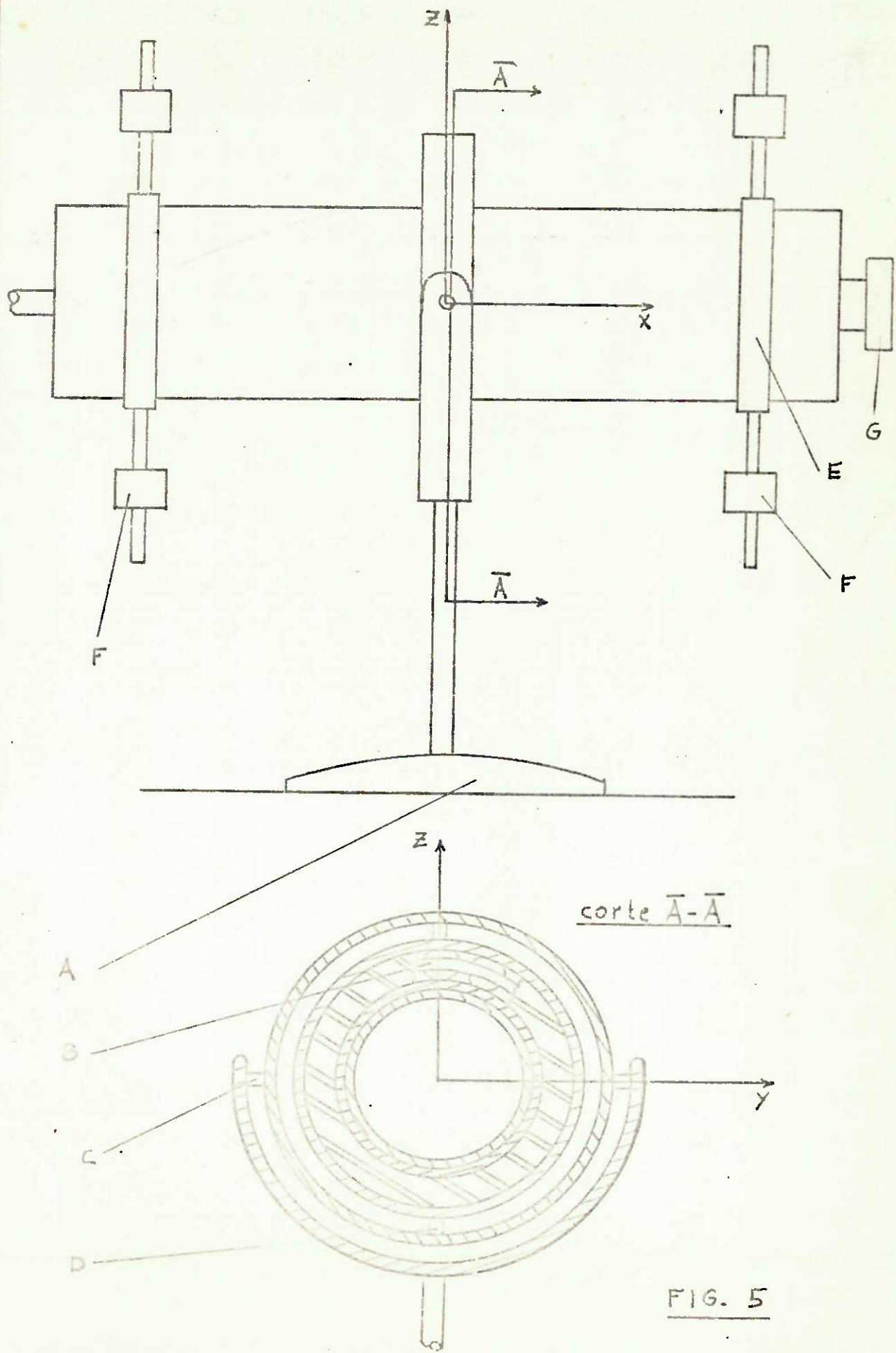
O piloto dispõe dos três controles básicos exigidos, ou seja: direção, acelerador e freio. Os ajustes de peso, momento de inércia, atrito com a pista e centro de gravidade serão explicados à medida que nos aprofundarmos na análise.

## DETALHAMENTO

Na figura 5, vemos o esquema do sistema de sujeição multiarticulado que permite a realização dos movimentos necessários. O rolamento permite a rotação do conjunto ao redor do eixo x, enquanto que as duas articulações restantes, em torno dos eixos y e z, respectivamente.

O conjunto de quatro contra-pesos têm por finalidade permitir duas regulagens fundamentais. A aceleração de um automóvel é inversamente proporcional à sua massa. Mas, como pode-se ver na figura, para um movimento de translação da imagem corresponde um movimento de rotação do projetor em torno do eixo y ou z (fig. 5). Decorre que um ajuste do momento de inércia do conjunto suspenso em relação a um eixo contido no plano zy e concorrente com os mesmos (eixos z e y), provoca um efeito que equivale a variar a "massa" do modelo projetado. Este ajuste pode ser efetuado variando-se a distância dos dois anéis de suporte dos contra-pesos (E), ao plano zy.

Por outro lado, variando-se o momento de inércia do conjunto suspenso em relação ao eixo x, provoca-se o efeito da variação de momento de inércia do carro em relação ao eixo t, perpendicular à pista e solidário ao veículo (fig. 6). Obtem-se esta regulagem, aproxi-



mando-se ou afastando-se os contra-pesos (F), do eixo x .

Um carro mais esparramado ou seja com momento de inércia grande em relação ao seu centro de gravidade, tende a opor-se muito às variações de orientação de seu eixo longitudinal necessário principalmente em pistas muito sinuosas. O efeito disto é que o carro passa a responder lentamente ao piloto ao mesmo tempo que provoca um desgaste maior dos pneus. Em automobilismo esportivo o esforço é no sentido de concentrar o peso o mais próximo possível do C.G.

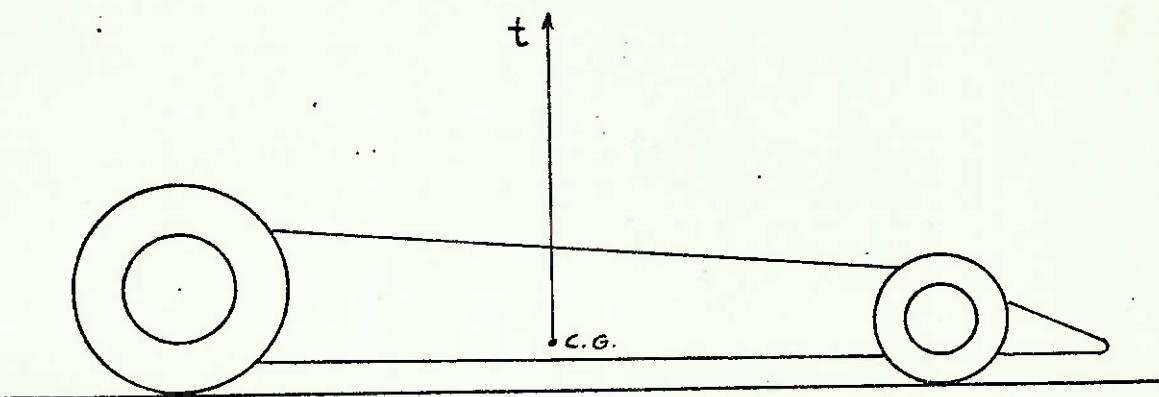


FIG. 6

### MECANISMO MOTOR

Uma vez estabelecido o sistema de sujeição que libera a movimentação com os três graus de liberdade necessários, passaremos a dirigir nossa atenção ao sistema mecânico de acionamento que atuará sobre o conjunto suspenso.

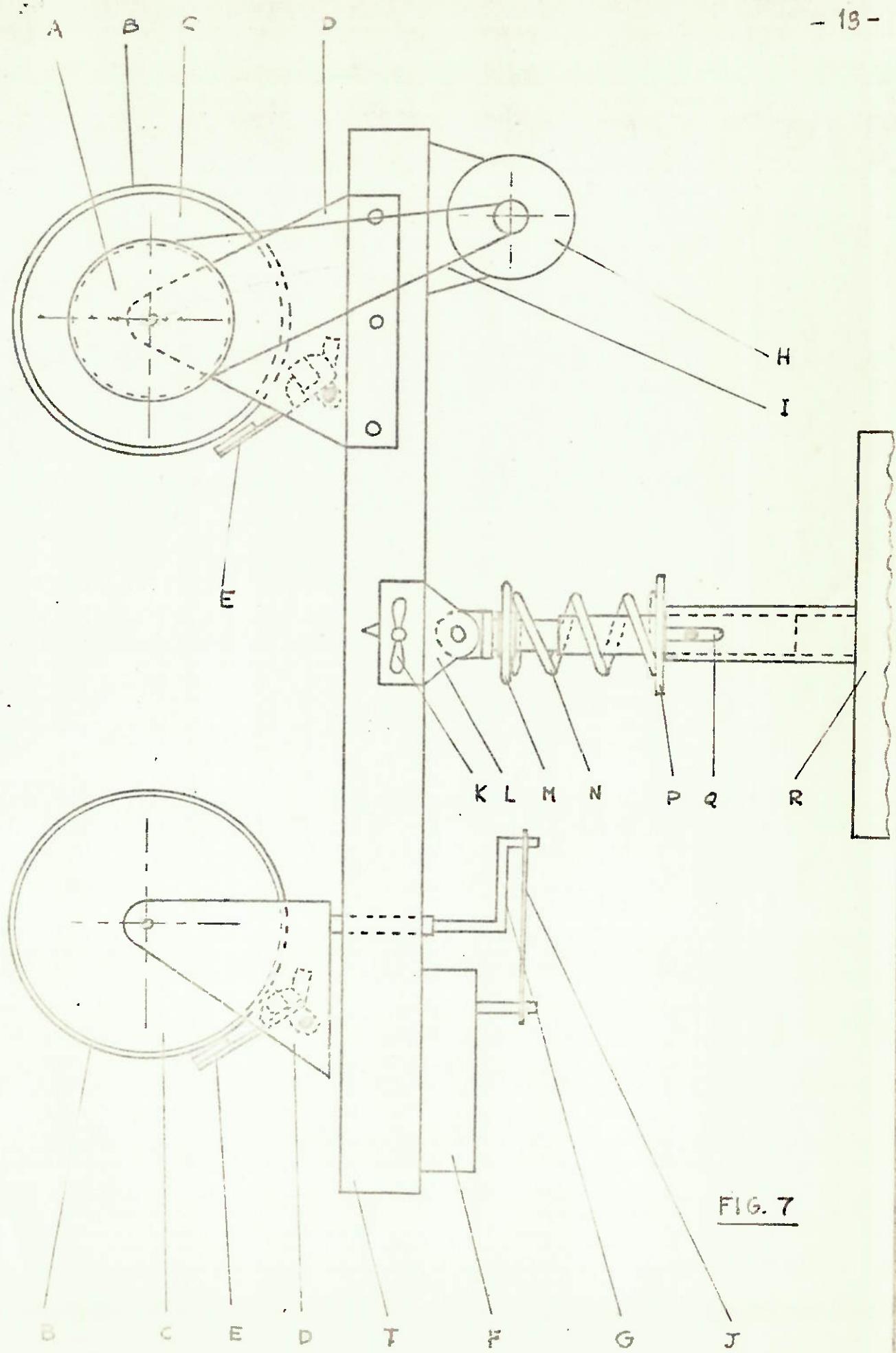
Este componente fica localizado na extremidade oposta de onde encontra-se o sistema ótico do aparelho simulador. De um lado é vinculado ao conjunto suspenso, por outro a uma calota esférica com a qual interage de forma particular. Esta forma de interação ficará bem clara à medida que dermos continuidade à descrição.

Como este mecanismo tem multiplas funções, faremos a análise do seu funcionamento decompondo-o em suas partes principais:

- conjunto motor
- sistema direcional
- freios
- ajuste de " atrito"
- ajuste de C.G.

### CONJUNTO MOTOR

Esta é a parte responsável pela aceleração linear



do automovel projetado na tela. O motor eletrico (H) aciona a roda motriz (C) (Fig. 7) através de uma polia cambiável (A). A dupla motor - roda formam um conjunto de torque tal que a resposta seja análoga ao torque do carro real.

#### SISTEMA DIRECIONAL

O servo-mecanismo (F) (Fig. 7), aciona a haste (G) por meio da barra rígida (J) articulada nas duas extremidades, provocando um deslocamento angular da roda dianteira.

O servo por sua vez, (Fig. 9), é composto por dois eletroimãs (C) que atuam sobre a "cruzeta" de material ferroso (A). Vê-se a mola de retorno (D).

#### FREIOS

Dois freios independentes atuam sobre as duas rodas do mecanismo motor. Cada um é composto por uma sapata acionada por um eltro-imã. A força de atração sobre a sapata é regulável ajustando-se a distância da mesma ao imã, por meio de um parafuso espaçador.

### AJUSTE DE ATRITO

Todo o mecanismo de acionamento é vinculado ao projetor por meio de uma mola de pressão ajustável (N) (Fig. 7). Apertando-se a arruela rosqueada (N), comprime-se a mola e consequentemente aumenta-se o atrito entre as rodas (C) e a superfície esférica sobre a qual rodam.

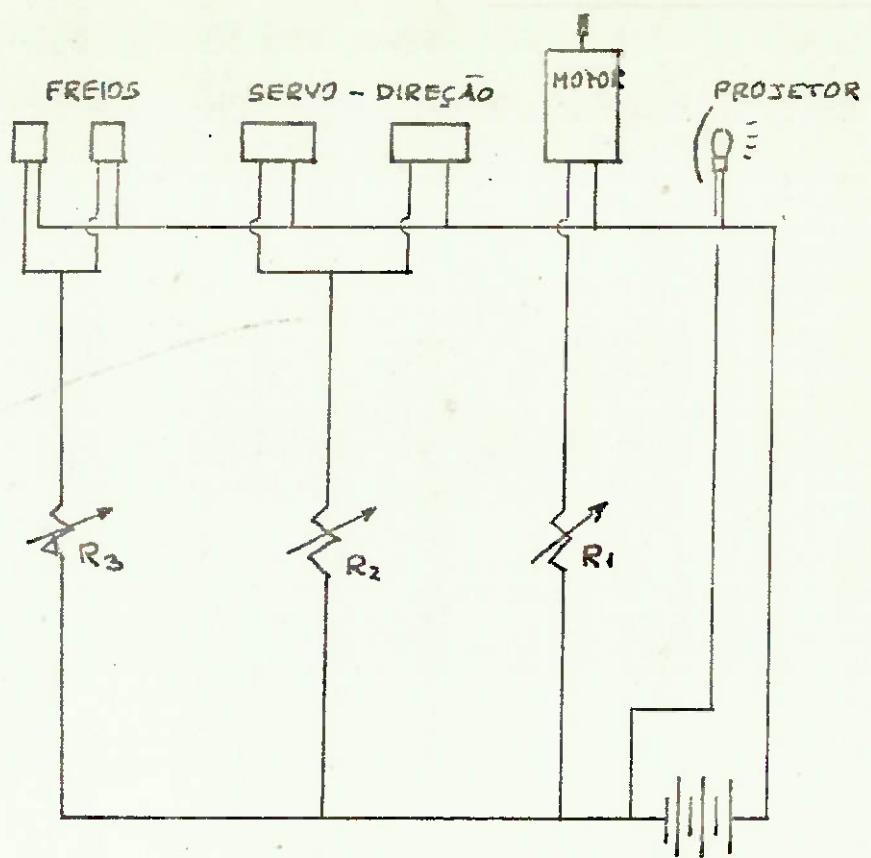
### AJUSTE DO C.G.

A peça (L) corre livremente sobre a barra graduada que suporta as rodas. A borboleta (K) fixa o conjunto, uma vez estabelecida a posição correta.

Por meio desta mobilidade consegue-se um efeito sobre a imagem projetada, que equivale a variar a posição do centro de gravidade do carro real. O C.G. do conjunto, no entanto, pouco se altera.

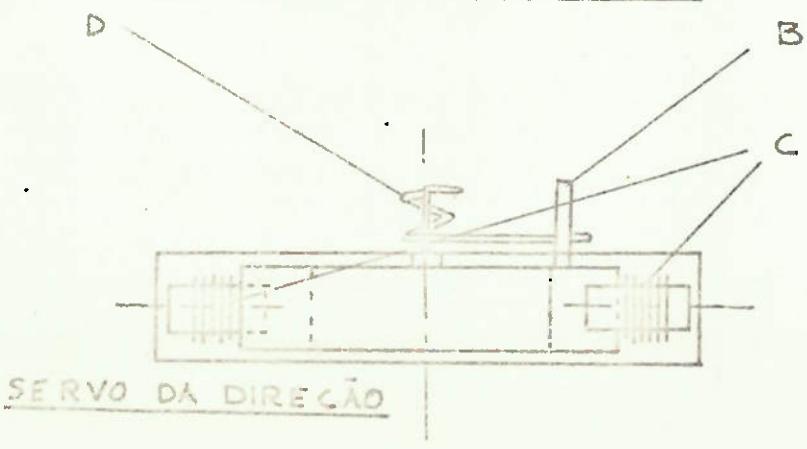
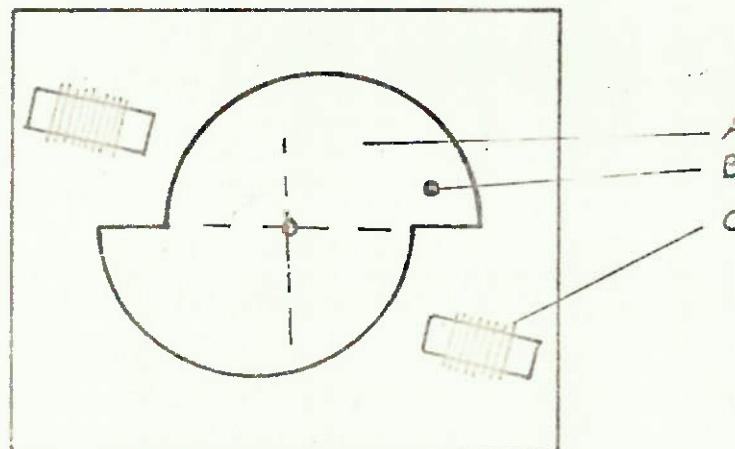
### OS COMANDOS DO PILOTO

O participante comanda a atuação do modelo por meio de três resistências variáveis.



CIRCUITO ELÉTRICO

FIG. 8



SERVO DA DIREÇÃO

FIG. 9

A primeira é ligada em série com o motor de acionamento (H), a segunda em série com o servo-mecanismo de direção, e a terceira com os freios.

#### OPERACAO E AJUSTES

Numa sala obscurecida, posiciona-se a imagem no ponto de partida sobre a pista na tela. Acelera-se. Se ao entrar numa curva notar-se que o carro está saindo de traseira, por exemplo, significa que a peça (L) da figura 7, está demasiado para trás, portanto deve-se reposicioná-lo mais à frente; ou vice-versa. Agora, se o automóvel estiver muito "leve", ou seja, se estiver saindo nas curvas e patinando a velocidades muito baixas, pode-se grudá-lo mais à pista, aumentando a pressão na mola (N). Poder-se-ia também, neste caso, diminuir os diversos momentos de inércia do conjunto suspenso através de mudanças de posição dos contra-pesos poren, isto não é conveniente pois as relações básicas de peso e inércia uma vez estabelecidos, são fixos para cada carro.

Os freios são regulados de tal forma que o travamento ocorra simultaneamente, ou então a gosto do condutor, de acordo com seu estilo de guiar.

