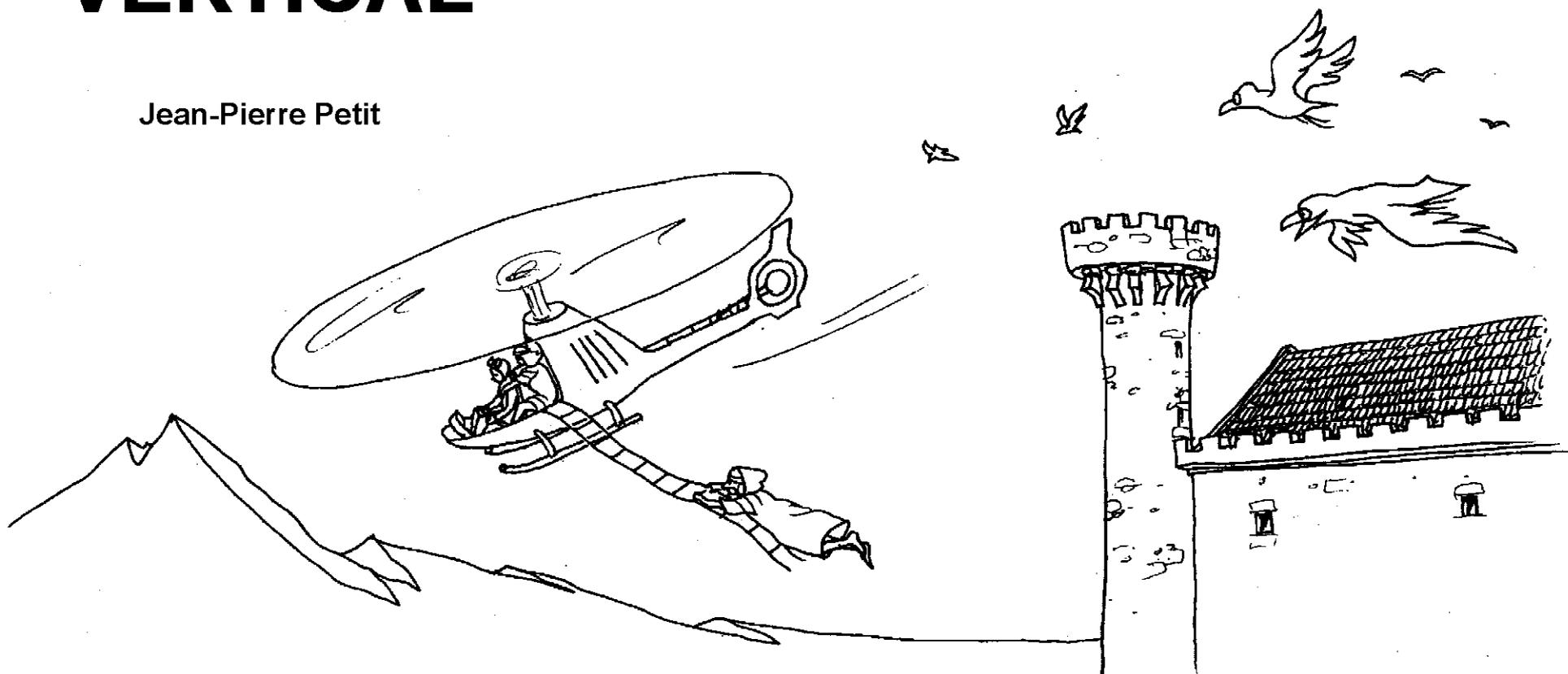


A PAIXÃO VERTICAL

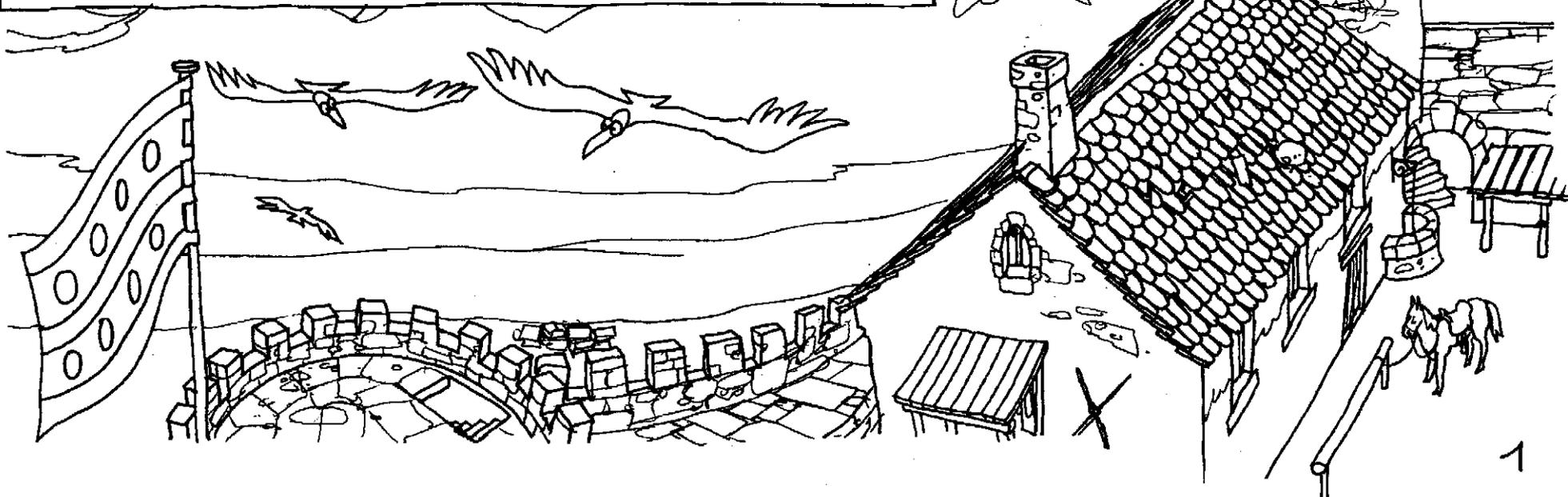
Traduzido por:
Sonia da Costa

Jean-Pierre Petit



<http://www.savoir-sans-frontieres.com>

Era uma vez, na Vestefália, um castelo que pertencia ao Barão de Thunder-den-Trunck, onde vivia com a sua esposa e a sua filha Cunegundes. Um jovem moço chamado Cândido também vivia no castelo. Era o filho de uma parente do senhor Barão e, ao que se constava, de vinte e quatro caçadores do reino. Nesse castelo, também vivia um filósofo, o mestre Pangloss, grande apreciador dos escritos de Leibnitz, o qual havia provado admiravelmente que não havia efeito sem causa e que, no melhor dos mundos possíveis, o castelo do Monsenhor o Barão era o mais lindo dos castelos, e que a Senhora Baronesa era a melhor das baronesas possíveis.



Um belo dia, enquanto passeava, a jovem Cunegundes, com 17 anos de idade, deparara-se, num bosque das redondezas do castelo, com o professor Pangloss a dar uma aula de física experimental à criada da Senhora Baronesa, no meio das silvas. Deveras inclinada para as ciências, Cunegundes observara, sem respirar, as repetidas experiências de que fora testemunha (*)

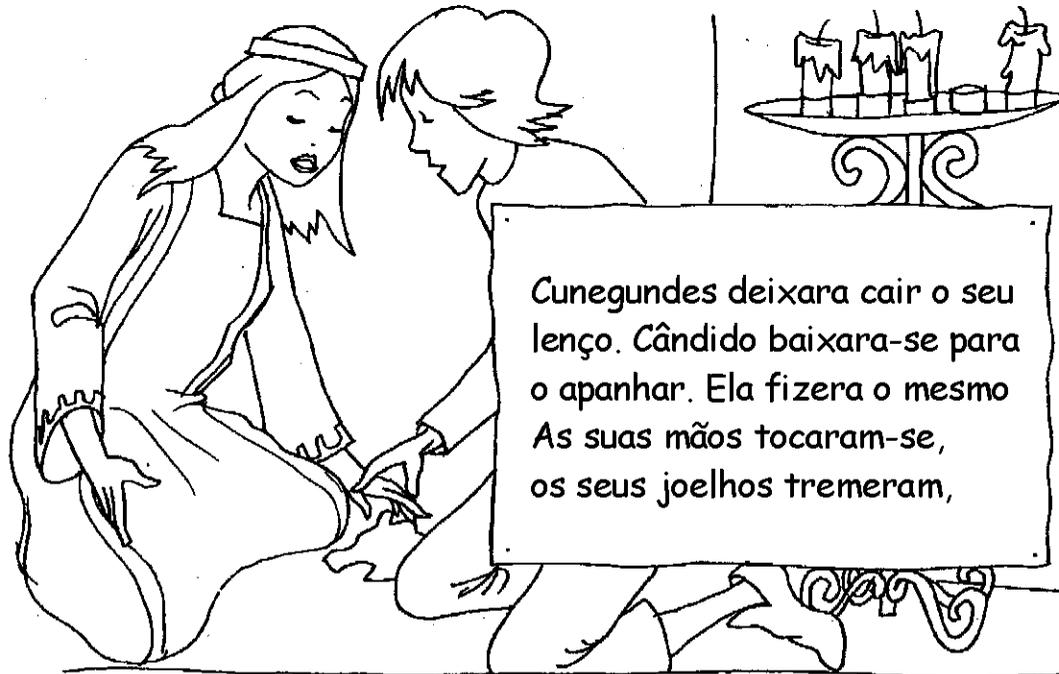


Vira com toda a clareza a razão suficiente do Doutor, os efeitos e as causas, e regressara, toda empolgada e pensativa, cheia do desejo de se tornar sábia. (*)



Encontrara Cândido ao voltar para o Castelo, e corara; Cândido também corara. Ela cumprimentara-o com uma voz entrecortada, e Cândido respondera-lhe sem saber o que dizia. (*)





Cunegundes deixara cair o seu lenço. Cândido baixara-se para o apanhar. Ela fizera o mesmo. As suas mãos tocaram-se, os seus joelhos tremeram,



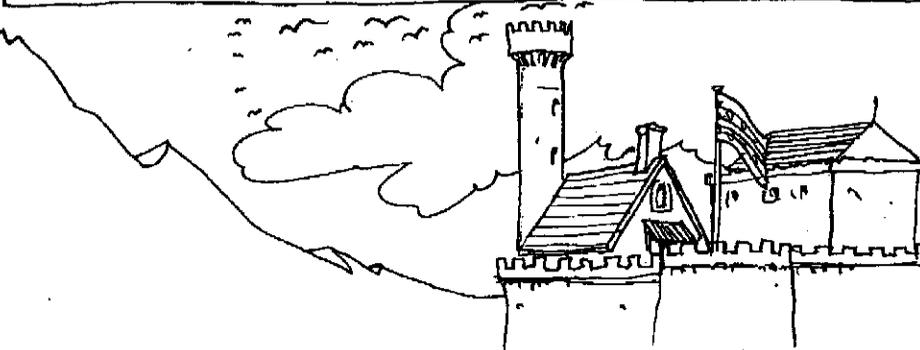
os seus lábios encostaram-se, as suas mãos perderam-se... Ora, o Senhor Barão, ao passar por ali, assistira àquela cena, vendo aquela causa e aquele efeito.



O Senhor Barão correrá Cândido do castelo, com pontapés no traseiro.



A Senhora Baronesa esbofeteara Cunegundes e trancara-a numa sala que ficava lá bem no cimo da torre do castelo.



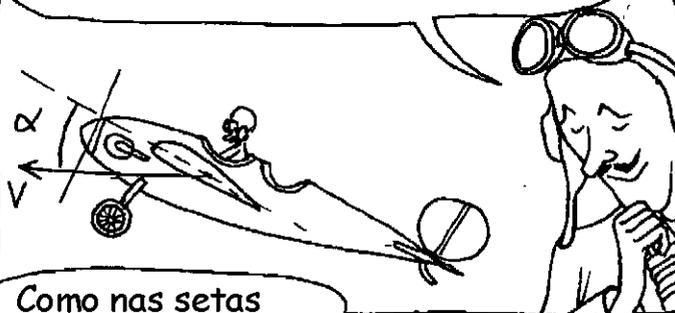
Houvera a maior consternação no mais lindo e agradável dos castelos possíveis... (*)

(*) Reprodução idêntica do texto de Voltaire (1694-1778), extraído da sua obra "Cândido ou o Optimismo"



(*) Para saberem como voa um aeroplano, podem ler "O Sonho de Voar" em <http://www.savoir-sans-frontieres.com>

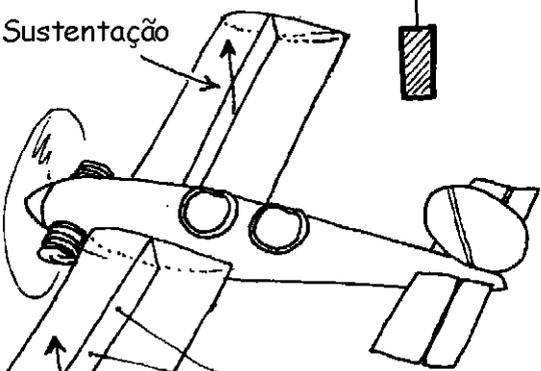
Acho que consigo arranjar uma forma de reduzir a longitude de aterragem realizando uma aproximação de menor velocidade. A **SUSTENTAÇÃO** da asa é proporcional à sua **INCIDÊNCIA α** . Por isso, ao inclinar o avião, devo conseguir voar mais lentamente.



Como nas setas das gruas.



Estas barras trabalham por **TRACÇÃO**.

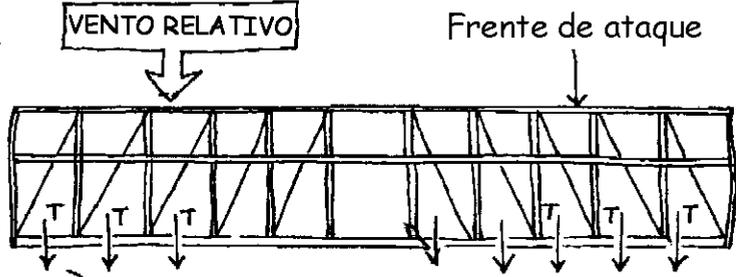


A **LONGARINA** suporta as forças de flexão ligadas à **SUSTENTAÇÃO**.

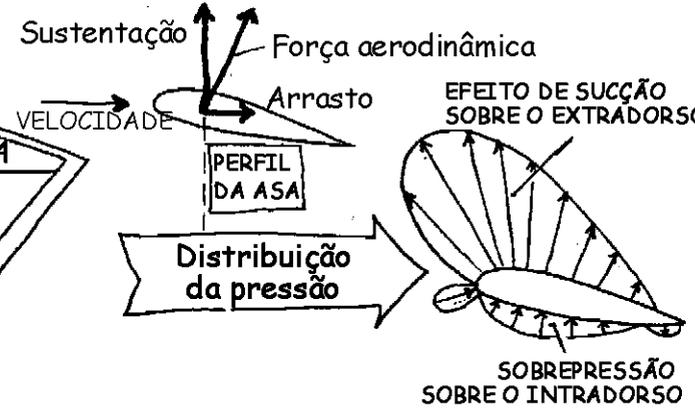
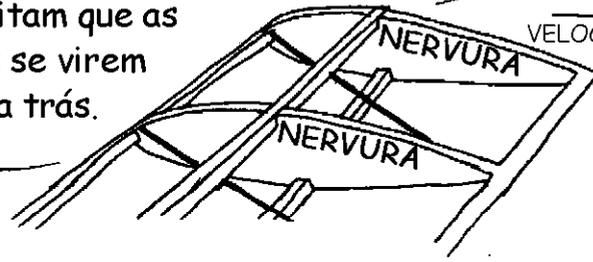
Com que então é essa asa que lhe permite manter-se no ar?



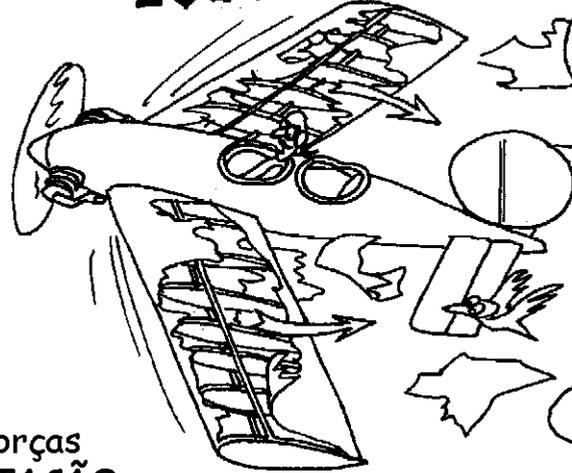
Correcto.



Coloquei cabos tensores que transmitem as forças de arrasto e evitam que as asas se virem para trás.



KRAK!

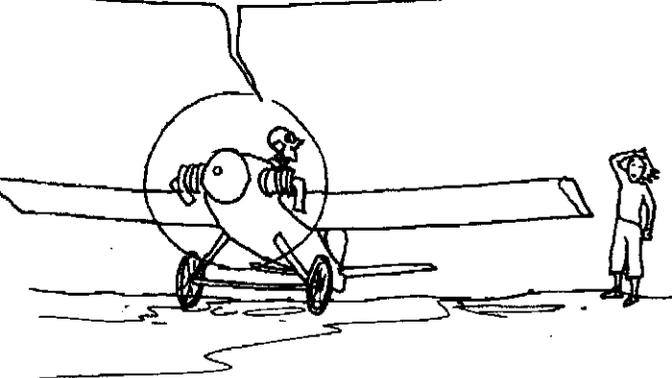


Meus caros, se não fossem estes preciosos tensores, bem que as asas se partiriam.

Mais vale prevenir ... é sensato!

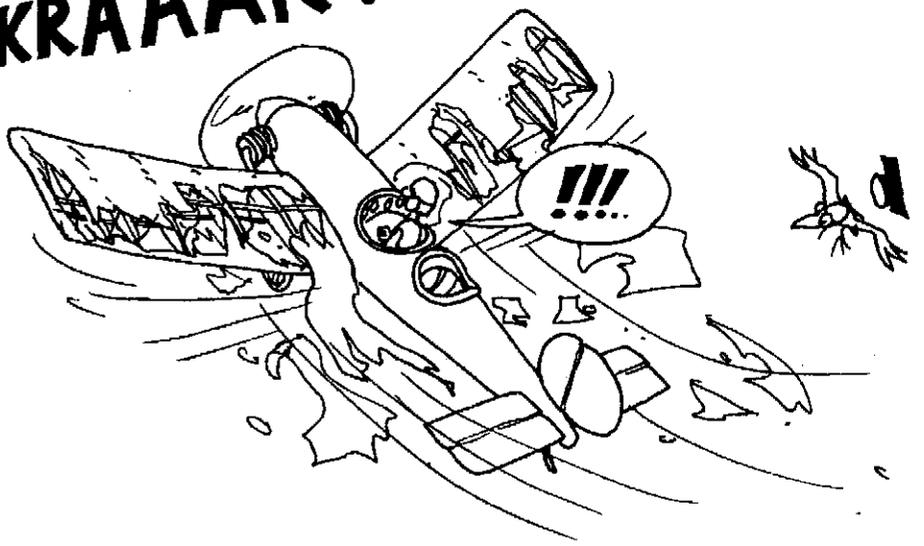


Bem, vamos lá ver como
havemos de reduzir a velocidade
inclinando o aparelho.



Vou puxar
a alavanca.

KRAAAK!



De repente, partem-se as asas
dobrando-se para a frente.

Pronto, já está. Basta colocar uma
segunda série de tensores para impedir
que as asas se dobrem para a frente.



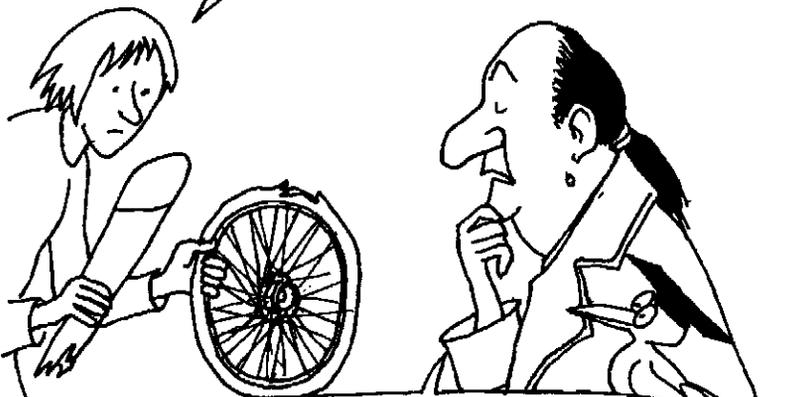
Agora, o aparelho está reforçado
como deve ser. Vou incliná-lo aos poucos.

Ou vai ou racha!



A PERDA DE SUSTENTAÇÃO

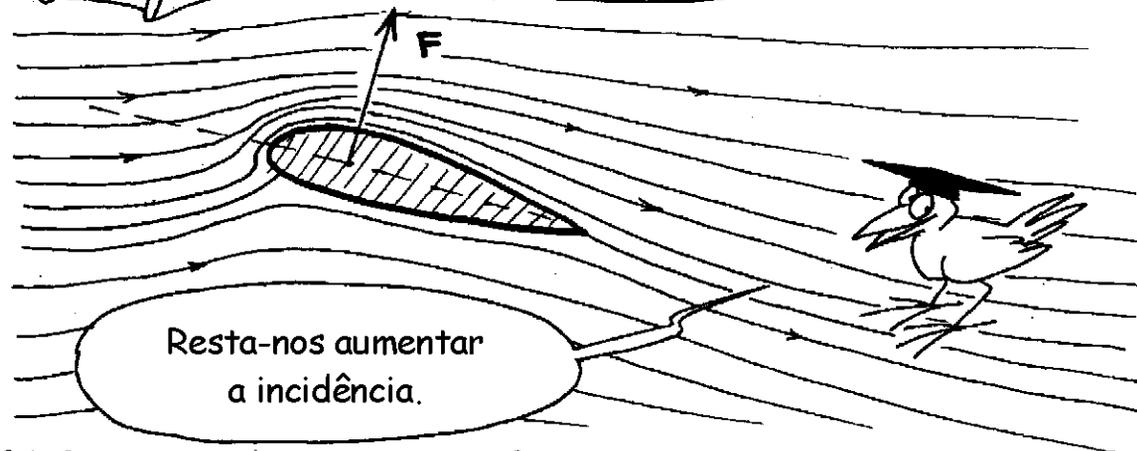
Não me vou safar com esta coisa se é que eu quero salvar a Cunegundes. Sinceramente, duvido muito que esta máquina venha a ter sucesso.



Dado que não há efeito sem causa, leva-nos a ter de descobrir a razão suficiente deste brutal desaparecimento da sustentação.

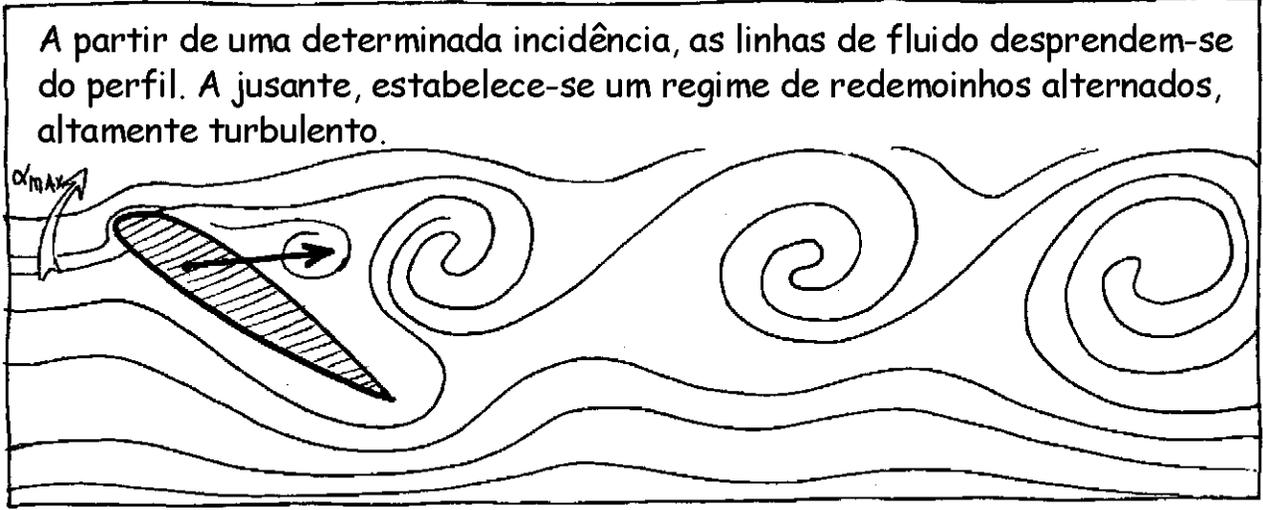
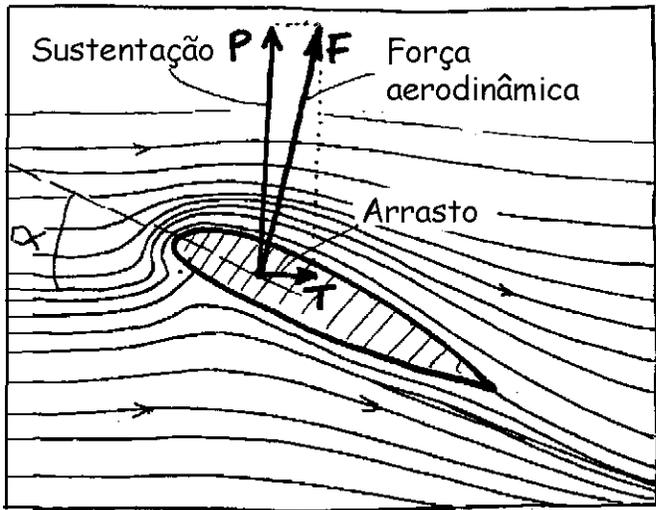


Não vejo nenhuma menção deste fenómeno em "O Sonho de Voar" (*). Só fala que a sustentação tem lugar quando um fluxo bem regulado envia o fluido para baixo.



Resta-nos aumentar a incidência.

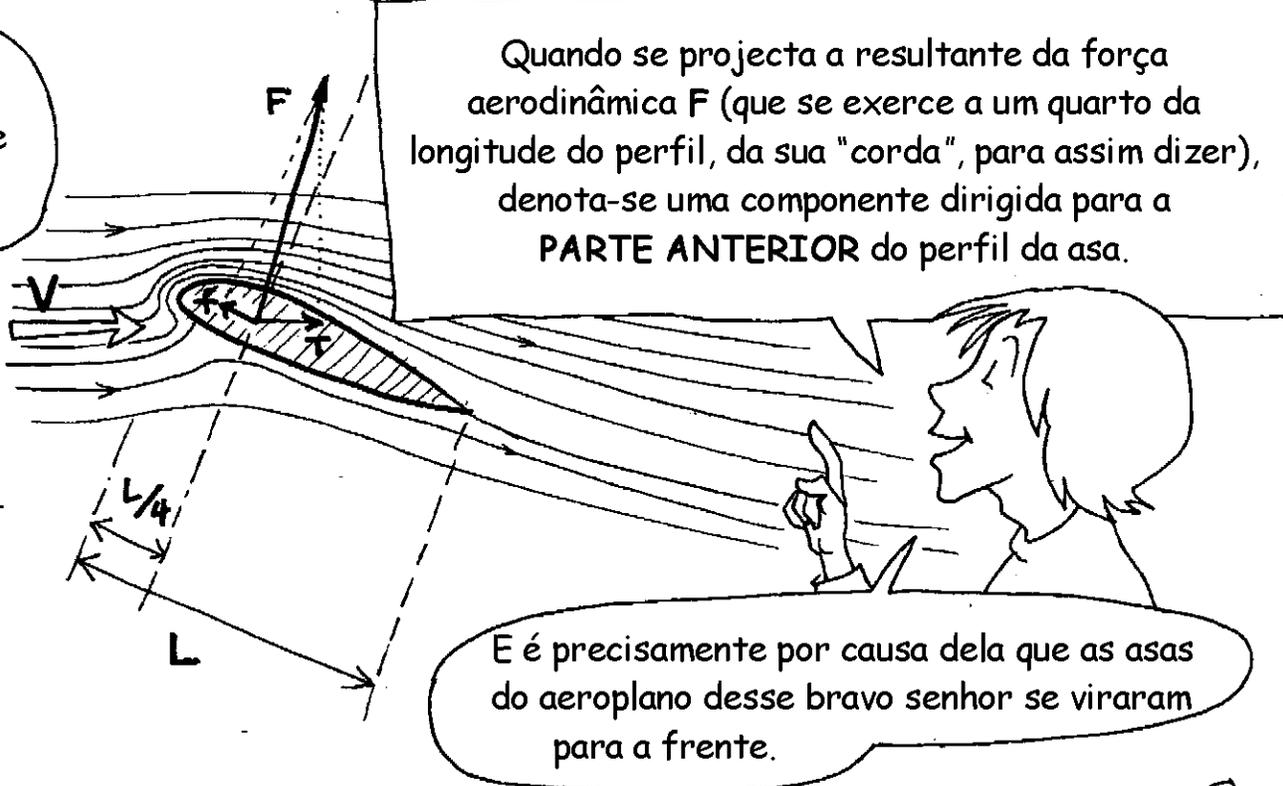
(*) <http://www.savoir-sans-frontieres.com>



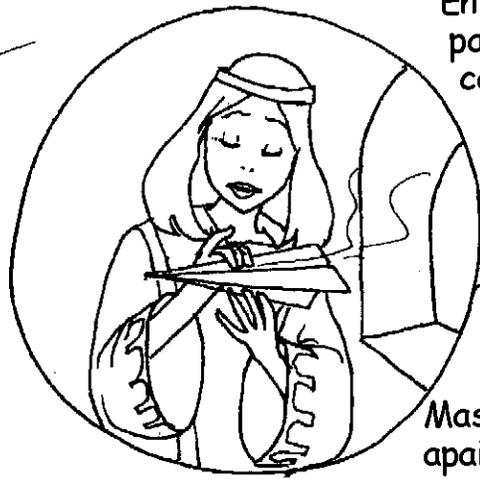
Agora só de olhar para o esquema do fluxo que corresponde a uma forte incidência, é que reparei numa coisa.

Em quê?

Quando se projecta a resultante da força aerodinâmica F (que se exerce a um quarto da longitude do perfil, da sua "corda", para assim dizer), denota-se uma componente dirigida para a **PARTE ANTERIOR** do perfil da asa.



E é precisamente por causa dela que as asas do aeroplano desse bravo senhor se viraram para a frente.



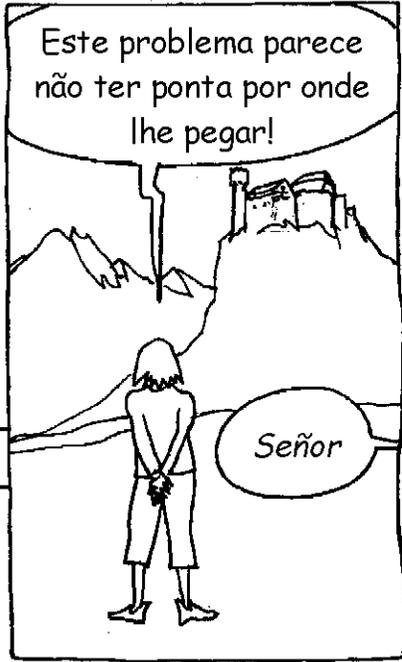
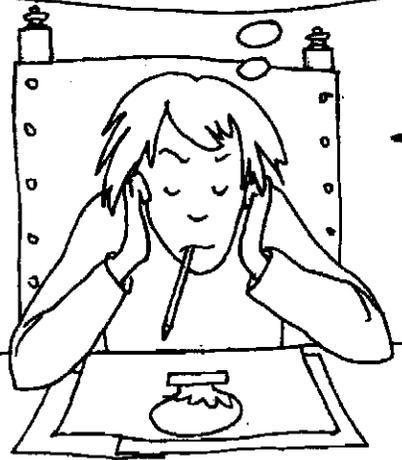
Entretanto, a Cunegundes não parava de escrever cartas e mais cartas ao seu amado Cândido.



Ouah!

Mas as suas palavras apaixonadas ardiam de tal forma que as missivas se consumiam antes de tocarem a terra.

Um balão?
Nunca vai dar em nada.
Ainda me deixa ficar mal.



Este problema parece não ter ponta por onde lhe pegar!

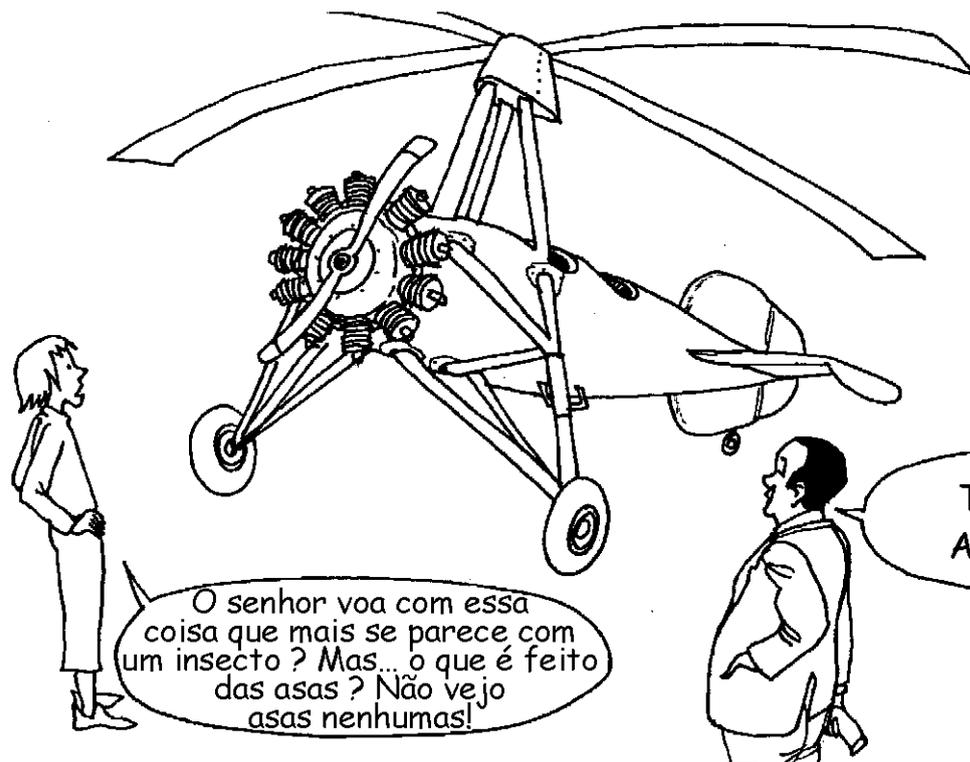
Señor



O meu nome é Juan de la Cierva. Importa-se de me dizer onde haverá uma casa de banho que eu possa usar?

Mãe do Céu!
Mas que máquina é essa?

O AUTOGIRO



O senhor voa com essa coisa que mais se parece com um insecto? Mas... o que é feito das asas? Não vejo asas nenhuma!

Tem quatro. Acha pouco?

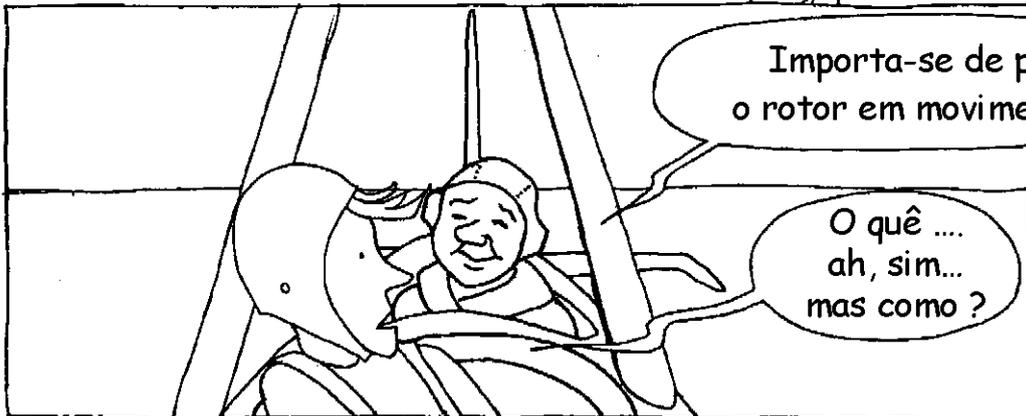


Que nome dá a este aparelho?

É um autogiro. Quer experimentá-lo?

Quer dizer que vou ser eu a garantir a nossa sustentação... manualmente?

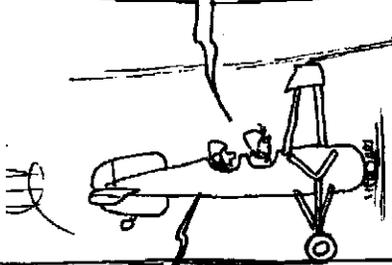
Não...



Importa-se de pôr o rotor em movimento?

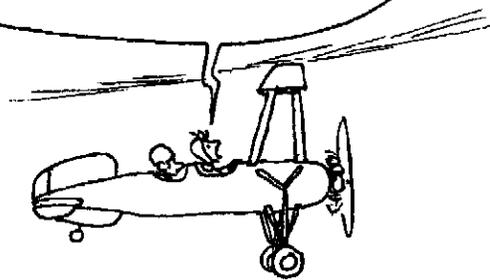
O quê ... ah, sim... mas como?

Não acredito nisto.
O rotor passou a girar
sozinho, porquê?



Auto-rotação

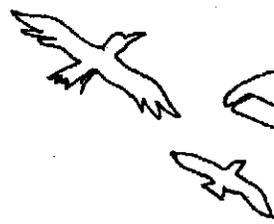
E agora estamos a voar.
Mas por que carga de água ?



Dirija-se ao
castelo, rápido,
tenha a gentileza !

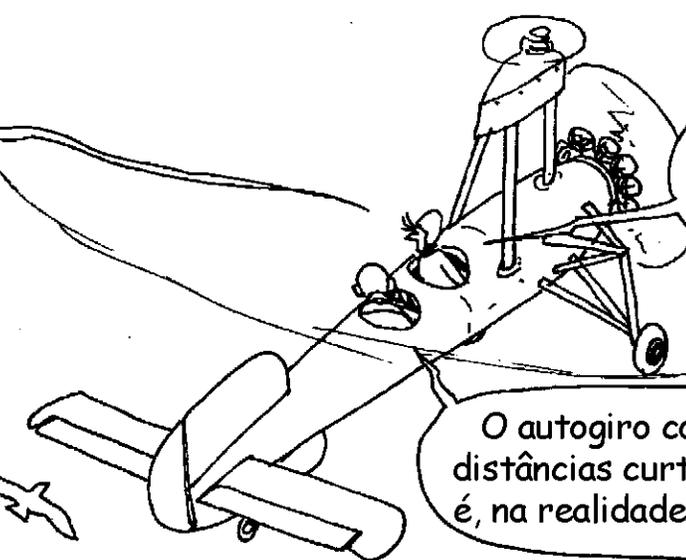


A minha querida Cunegundes
deve estar ali em baixo !



Importa-se de aterrar
naquele terraço ali ?

O autogiro consegue aterrar em
distâncias curtas, mas esse terraço
é, na realidade, demasiado pequeno!



Ah, Mestre Pangloss, sobrevoei o castelo e a torre onde a Cunegundes está detida. E isso, a bordo da máquina fantástica do senhor de la Cierva.

Aquele ali adiante que vai agora mesmo descolar?

Mas que azar o meu !
Leva com ele todos os seus segredos.
Qual será a força misteriosa que faz girar o seu rotor?

A explicação não tem nada de mais : Um rotor serve mesmo para girar, o que quer dizer que é dotado de uma virtude rotativa que o leva a girar. Não há efeito possível sem causa.

O seu raciocínio é imbatível, meu Mestre., mas gostava de saber mais um pouco....

O que está a fazer o Cândido?

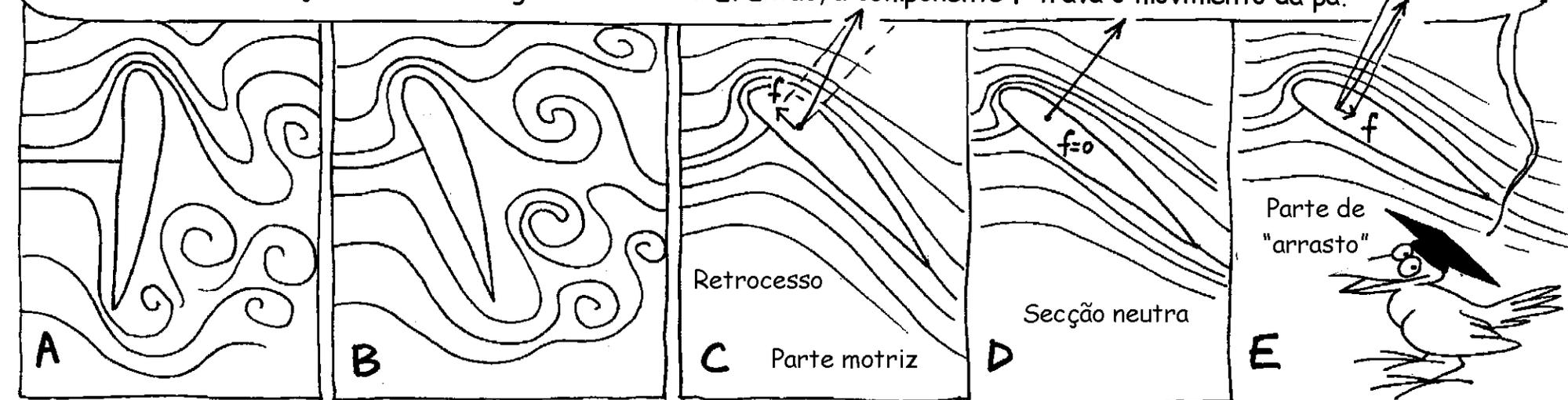
Cá para mim, vai reconstruir a maquinaria com a qual o senhor de la Cierva descobriu a razão suficiente do assombroso fenómeno.



AUTO-ROTAÇÃO

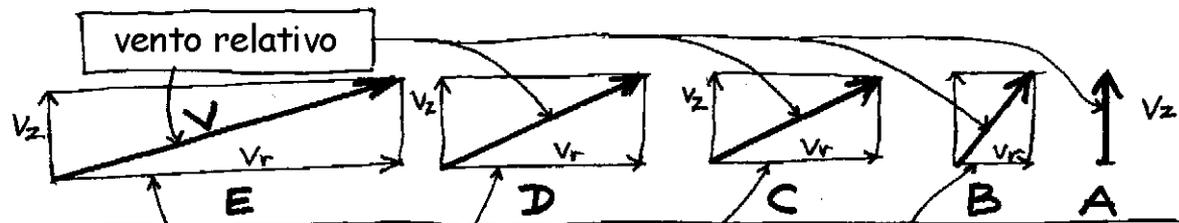


Quando a incidência da pá diminui relativamente à direcção do vento relativo, o fluxo retrocede (figura C). A força aerodinâmica (componente f) tende a arrastar a pá. Em D, esta força anula-se e é logo invertida em E. Então, a componente F trava o movimento da pá.

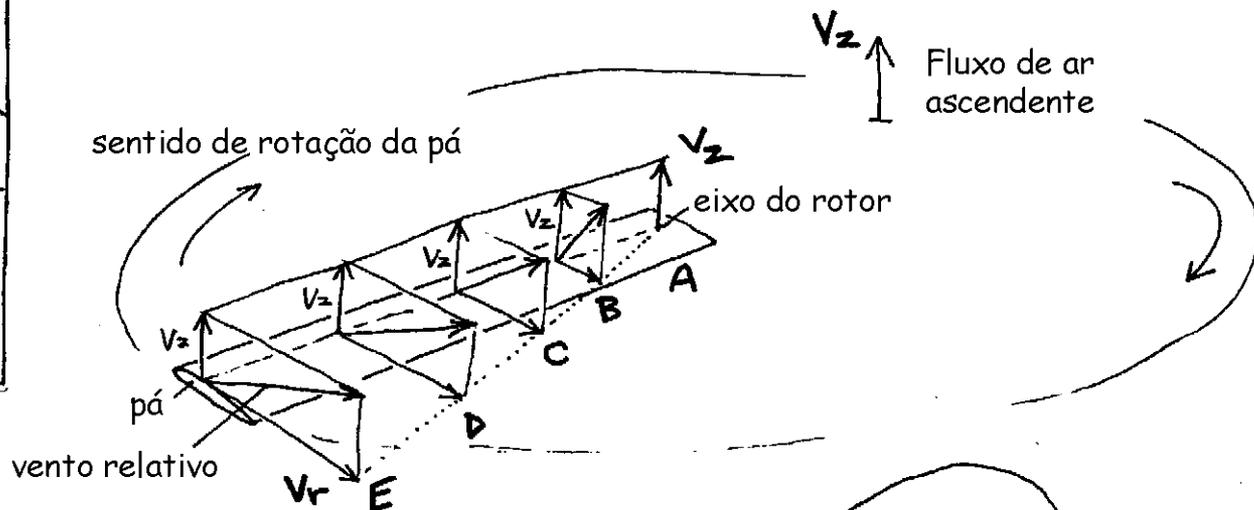


Eu bem que entendo, meu caro Cândido. Mas de onde vem essa mudança de direcção de aquilo a que chama de **VENTO RELATIVO**?

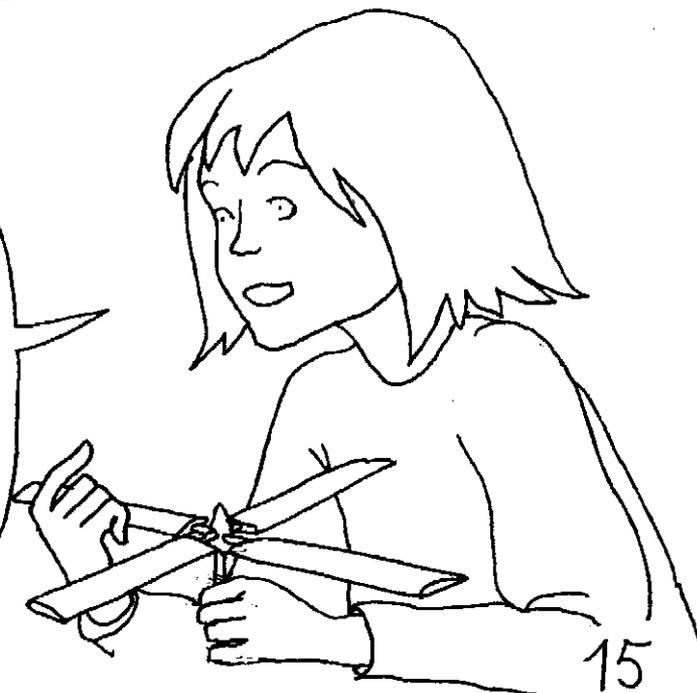
A velocidade do rotor combina-se com a velocidade que resulta da rotação da pá.



V_r : componente horizontal do vento relativo resultante da rotação da pá.



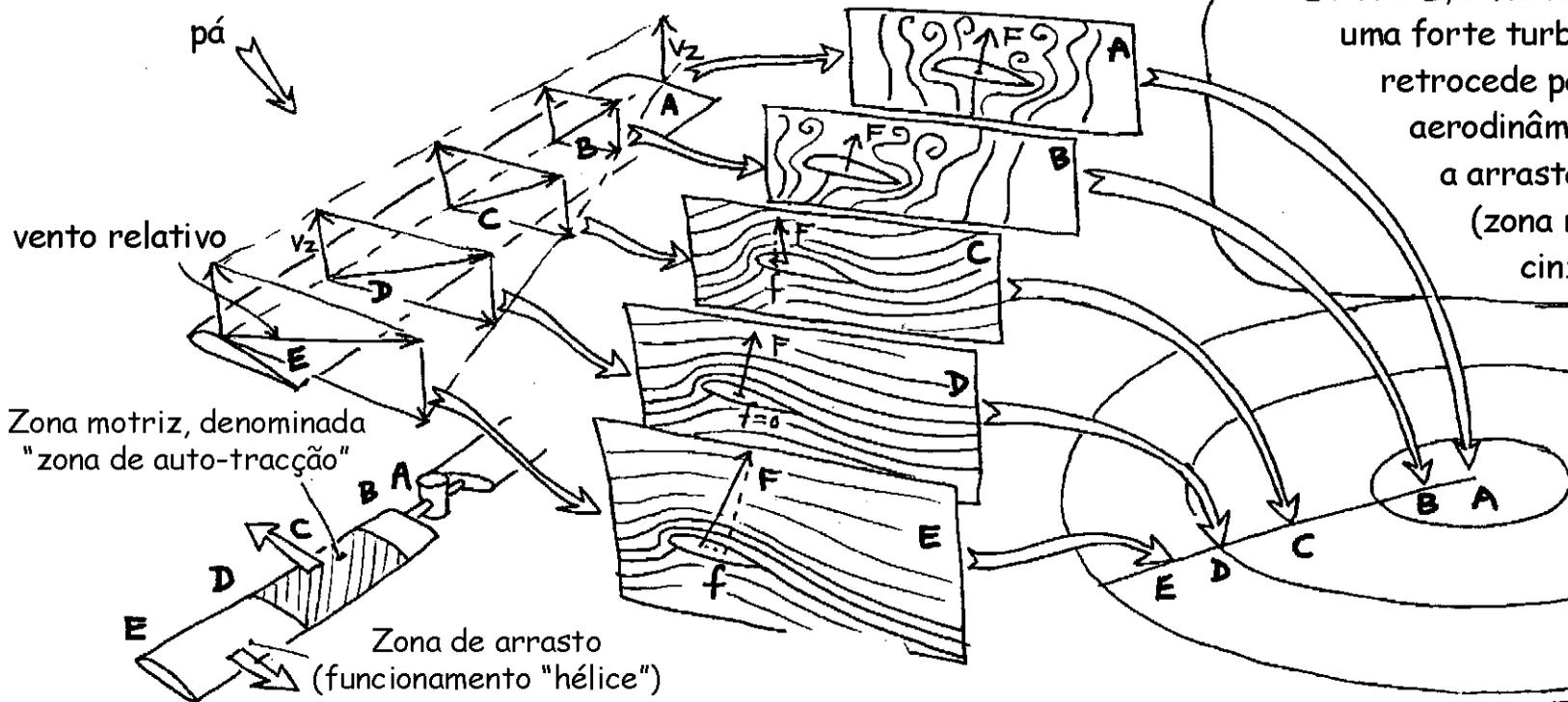
O rotor está imerso num fluxo de ar ascendente que corresponde a uma velocidade V_z . Esta combina-se com a velocidade induzida pelo movimento de rotação da pá, V_r , velocidade que é proporcional à distância ao eixo. A resultante é o **VENTO RELATIVO** que incide cada vez mais sobre a pá à medida que nos afastamos do eixo. Ao mesmo tempo, o módulo dessa velocidade aumenta desde o eixo à periferia.



Obtém-se fluxos bastante diferentes dependendo da forma como esse **VENTO RELATIVO** incide sobre a pá. Para visualizar os mesmos, adaptei um tubo fino que emite fumo, solidário com a pá em rotação. Aqui estão os resultados que eu obtive.



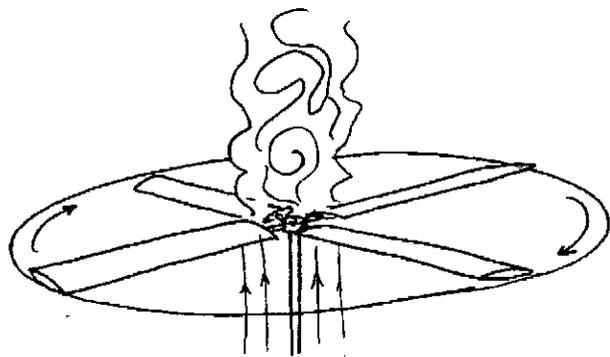
Em A e B, o fluxo "perde-se". A pá cria uma forte turbulência. Em C, o fluxo retrocede para o perfil. A força aerodinâmica tem tendência a arrastar a pá para a frente (zona motriz, "auto-rotativa", cinzenta).



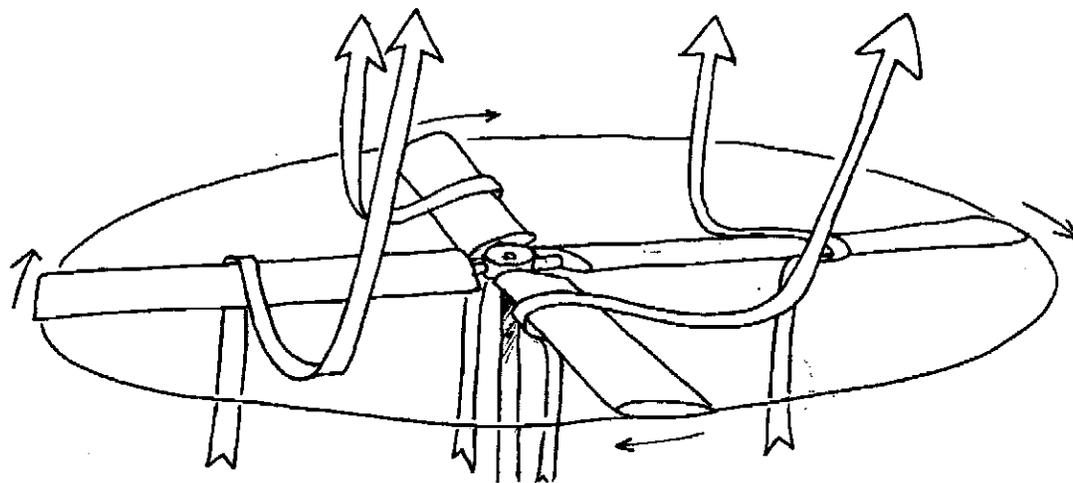
Em E, a força aerodinâmica, sempre dirigida para cima, tem tendência a travar o movimento da pá. A figura D representa a situação limite ($f=0$). Neste regime de **AUTO-ROTAÇÃO**, a porção rasurada da pá é motriz, ao passo que a extremidade da pá "se deixa arrastar". Um regime **AUTO-ESTÁVEL** é assim estabelecido.

Tendo tudo isto sido ensaiado em túnel de vento por Juan de la Cierva.

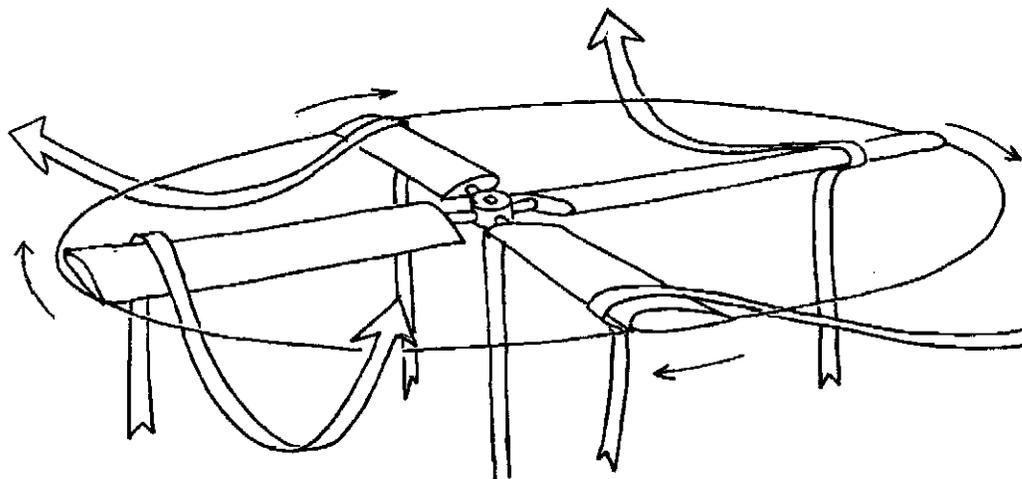




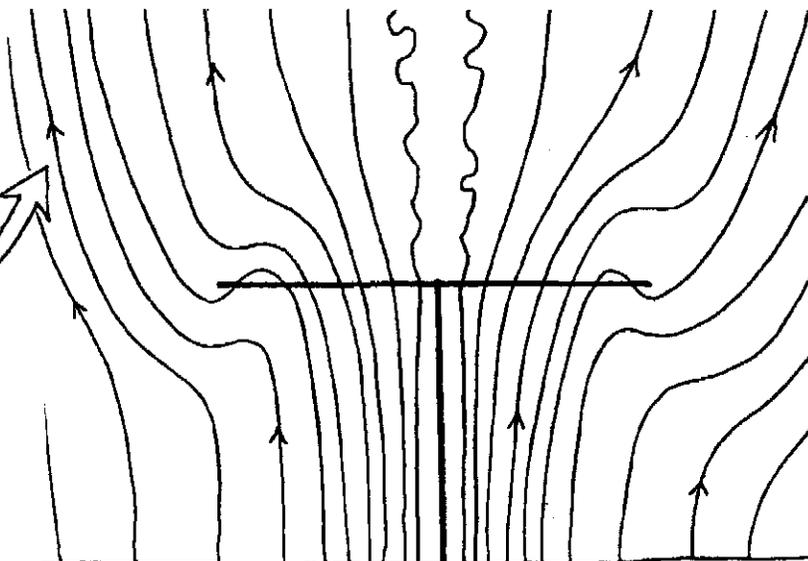
Acima da parte central, o fluxo "perde-se" e é formada uma esteira altamente turbulenta.



Aqui, o fluxo retrocede para o perfil da pá.

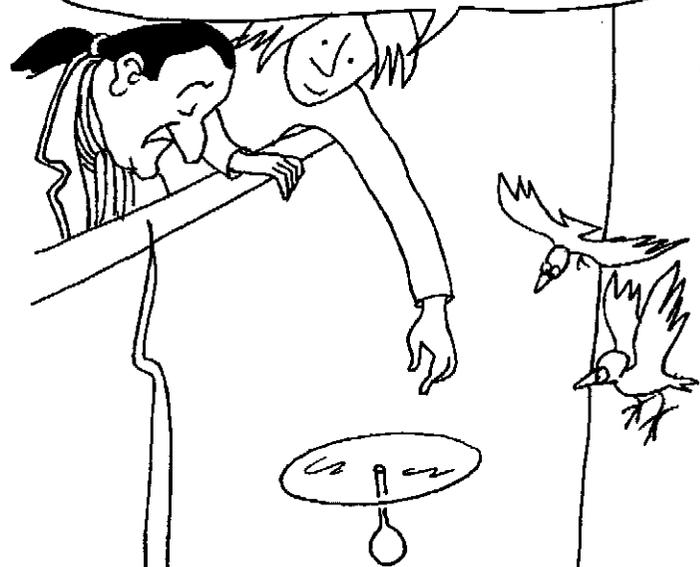


Na periferia, o impulso comunicado à massa de ar, dirigido para baixo (**VELOCIDADE INDUZIDA**) é suficiente para que esse mesmo ar volte a sair para fora do disco varrido pelo rotor.



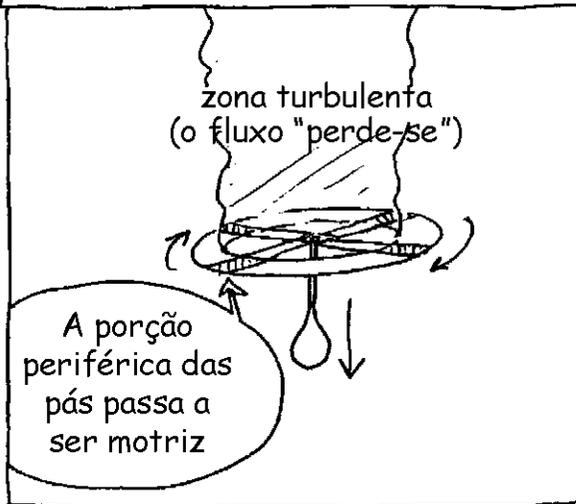
Conferindo ao fluxo global o curioso aspecto, como se pode ver acima.

Veja só isto, Mestre Pangloss :
deixo cair este pequena maquete
pela janela, depois de lhe ter
comunicado um impulso mínimo.

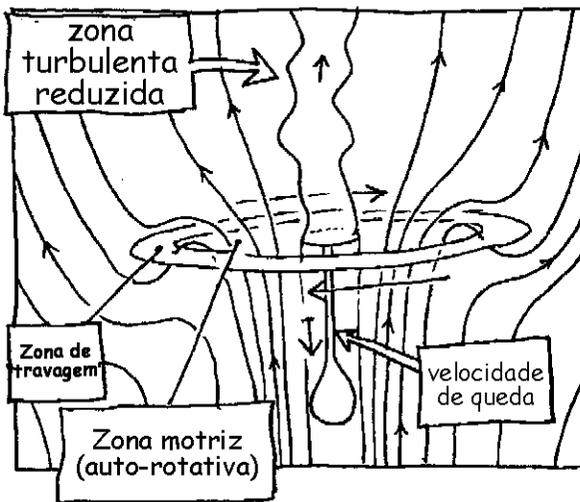
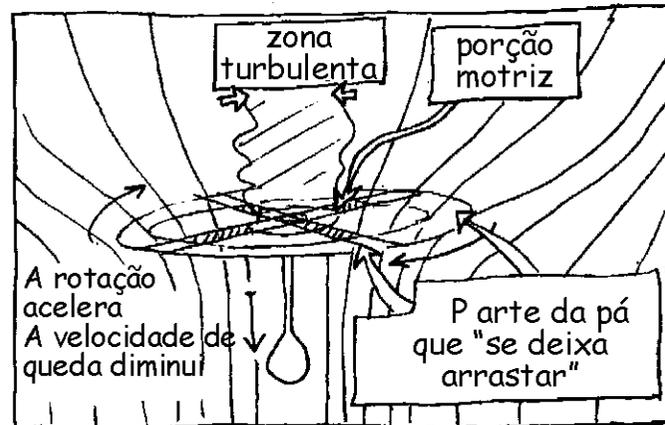


Mínimo... em
relação a quê ?

Para fazer com que a parte
periférica do rotor gire
suficientemente rápido para
o fluxo "retrocer". Passa assim
a ser motriz e a rotação acelera.



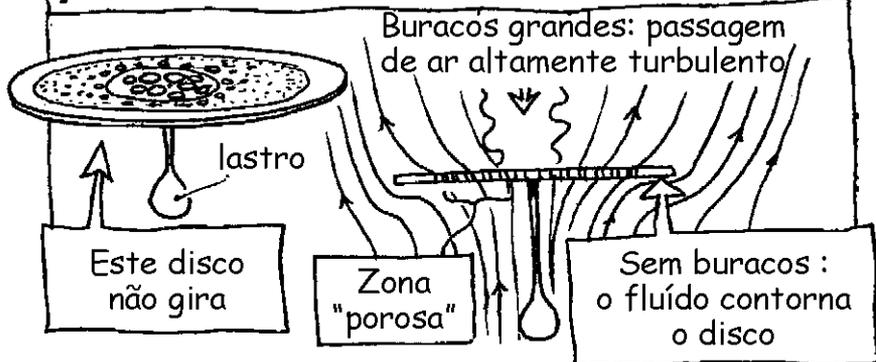
A porção de fluxo turbulento
(por « arrasto ») vai sendo reduzida à
medida que a rotação se torna cada
vez mais rápida. Surge então na
extremidade da pá uma porção
"de arrasto".



A velocidade de rotação ganha
estabilidade com o equilíbrio dos dois
pares. O regime de auto-rotação fica,
por isso, plenamente estabelecido e
a velocidade de descida é mínima.

Obter-se-ia um fluxo similar se se deixasse cair um disco que não gira, provido de perfurações cujo diâmetro decresce do centro para a periferia, criando assim zonas de porosidade diferentes.

A Direcção



O que teria acontecido se o Cândido não tivesse dado um impulso de rotação suficiente logo à partida?

A velocidade na extremidade das pás não teria chegado para que o fluxo "retrocedesse" sobre o perfil. Por isso, não teria havido sinal de força motriz, nem se teria instaurado nenhum regime de auto-rotação: A maquete teria caído que nem um calhau!

A uma dada altura, cheguei a pensar que esse dispositivo poderia ter sido a solução para a fuga da Menina Cunegundes. Mas acho daria antes cabo do esqueleto todo!

E o autogiro ?

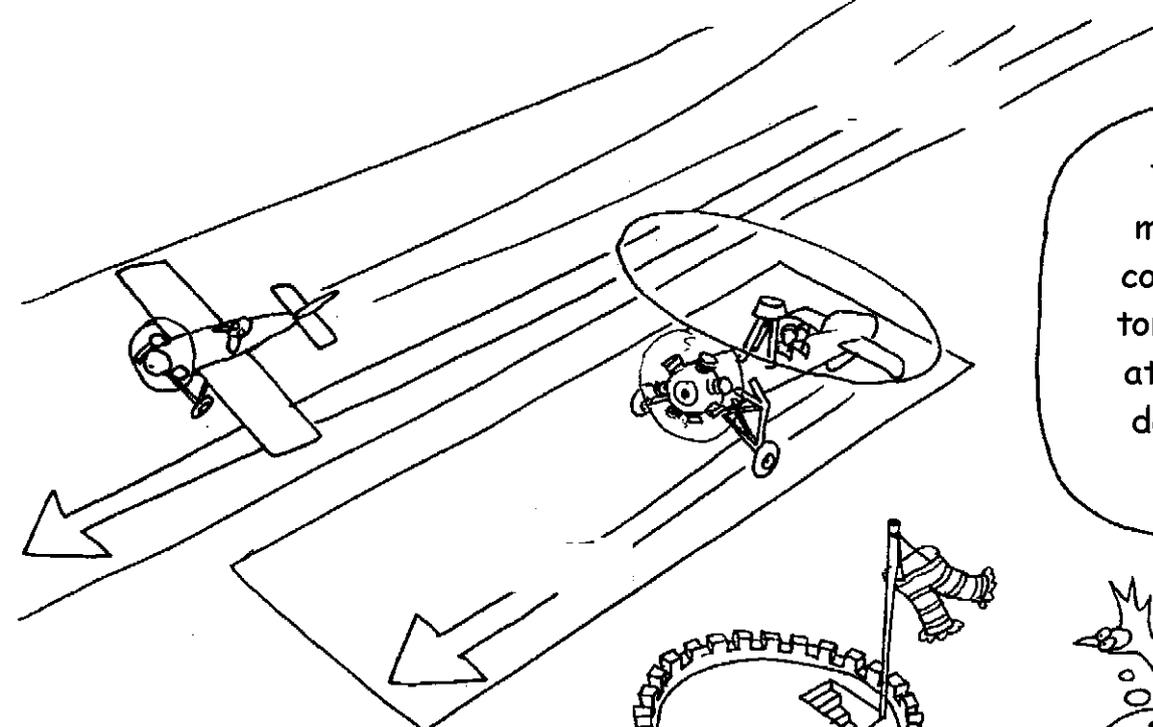
No entanto, gira (*)

Agora que o mistério da auto-rotação do seu rotor foi desvendado, resta acrescentar a isto tudo um toque de obliquidade. O rotor comporta-se como um disco de porosidade decrescente, do centro para a sua periferia.

Resumindo, o autogiro é, de alguma forma, familiar ao papagaio de papel cuja tela apresentasse uma porosidade decrescente, do centro para a borda, com um enorme buraco no centro pelo qual passa ar turbulento.

(*) *et pur se muove* (Galileu)

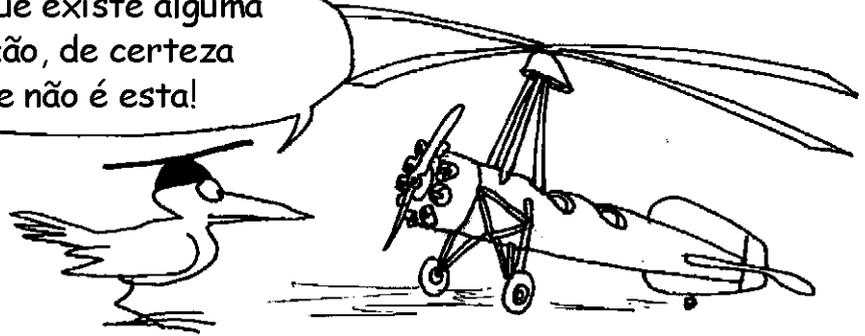




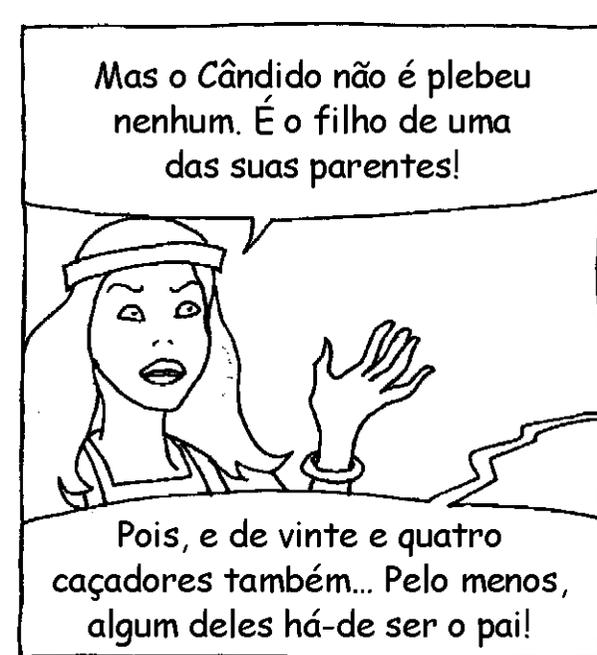
Toca a resumir: o aeroplano precisa de 150 metros para aterrar. O autogiro contenta-se com 15 metros. O problema é que o terraço da torre é de tal forma estreito que, para fazer a aterragem, é mesmo preciso providenciar uma descida vertical. Mas que máquina conseguirá fazer uma habilidade destas?!



Se é que existe alguma solução, de certeza que não é esta!



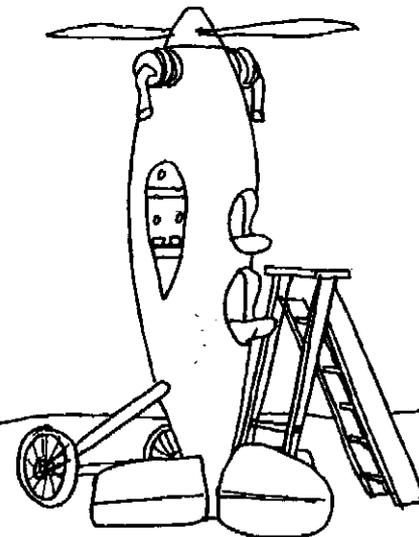
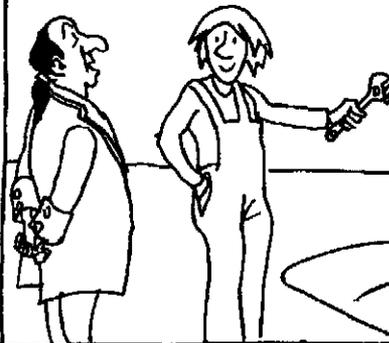




Afinal de contas, o piloto do aeroplano até tinha a sua razão ao querer inclinar o seu aparelho. O ideal seria transformar a sua hélice de tracção num dispositivo de elevação. E, já que estou com as mãos na massa, mais vale acabar logo com as asas.



E então, professor, que tal lhe parece?

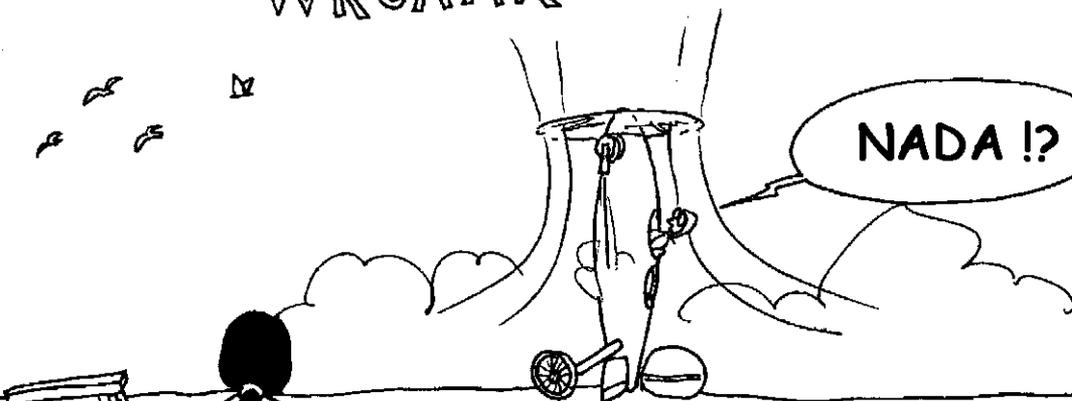


Pode retirar o escadote, que eu vou tratar de pôr os gases a fundo.

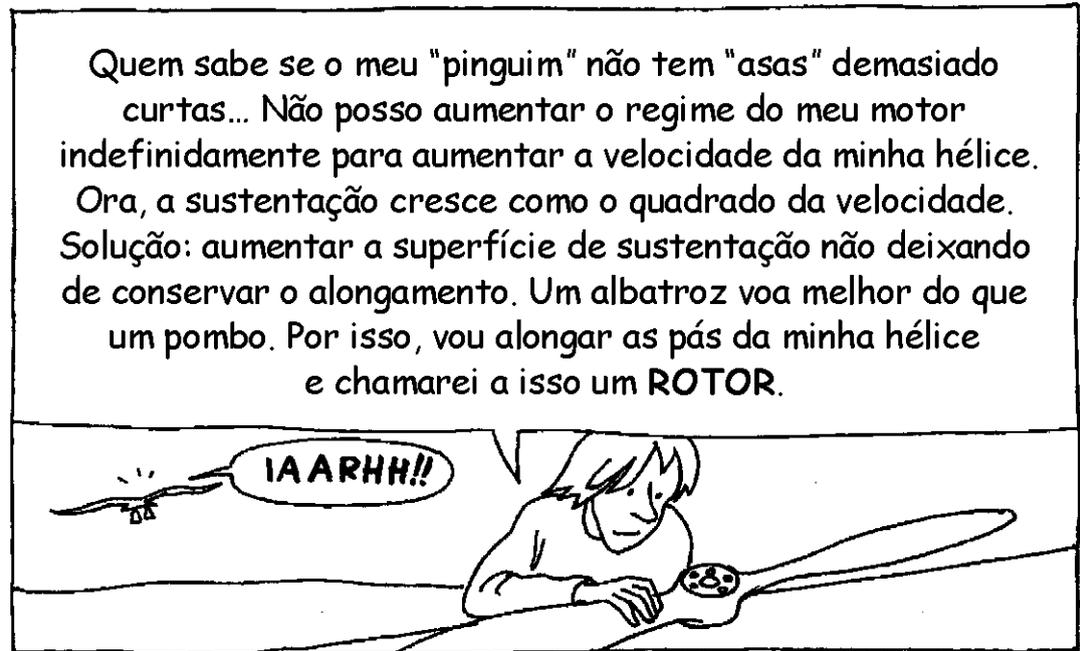
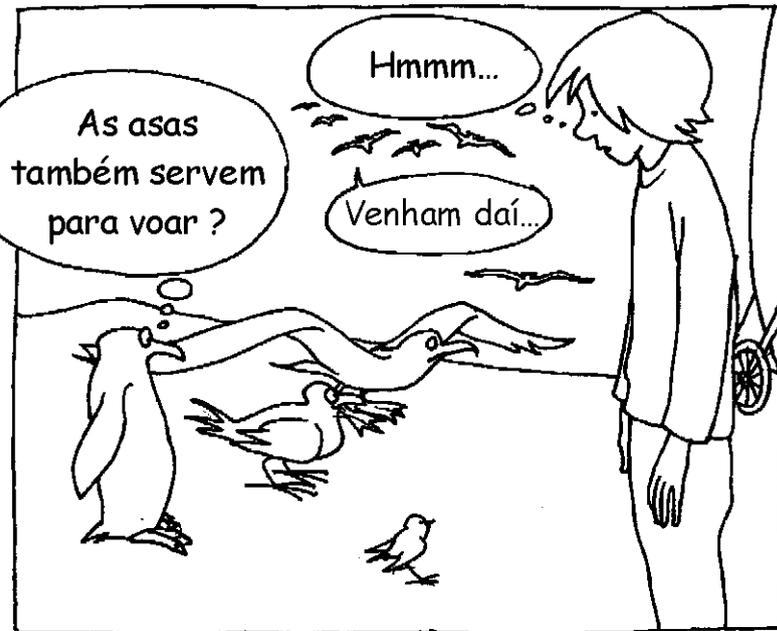


WROOAR

NADA !?



Veja lá se não quer rachar a cabeça, vou buscar o escadote.



O ACOPLAMENTO

Também posso aumentar o número de pás (*)

Tirei a prova dos nove : com esta potência de motor e este rotor, a máquina pode descolar.

Agora, deve ser de vez. Contacto!

Conseguí descolar, Pangloss, consegui. A minha máquina de estrutura giratória começou logo a girar em torno dela própria, em sentido contrário ao seu rotor.

Oh, diacho...

Esta experiência saiu-me furada, Meu Mestre. Tive como a sensação de que o meu cérebro estava a dar voltas no interior da desgraçada da minha cabeça!

(*) mas tudo o que se segue vale por 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ... pás.



Aqui temos um helicóptero auto-estável, provido de dois rotores contra-rotativos em que um é solidário da fuselagem giratória.



Folha de bristol
Livre de girar sobre o seu eixo

Fio de aço, 5/10°



Pau de balsa quadrado 6 x 6

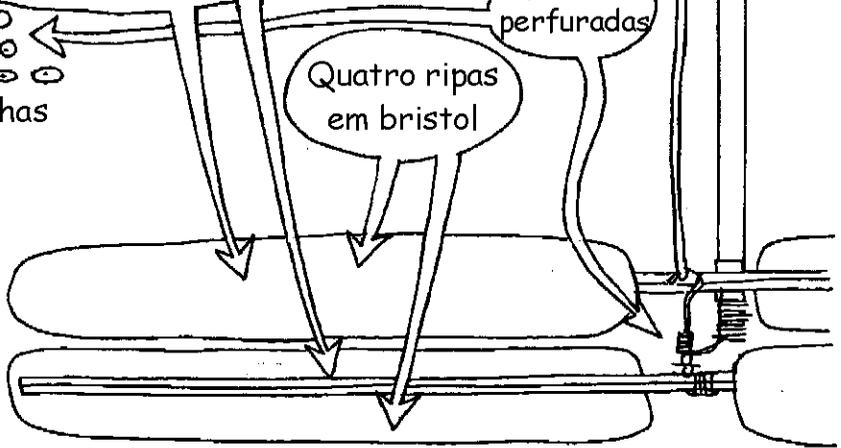
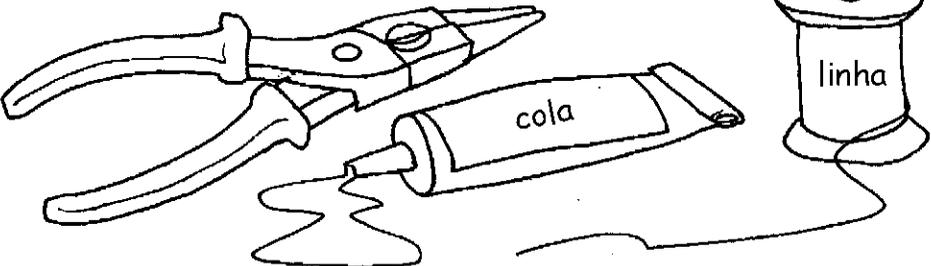
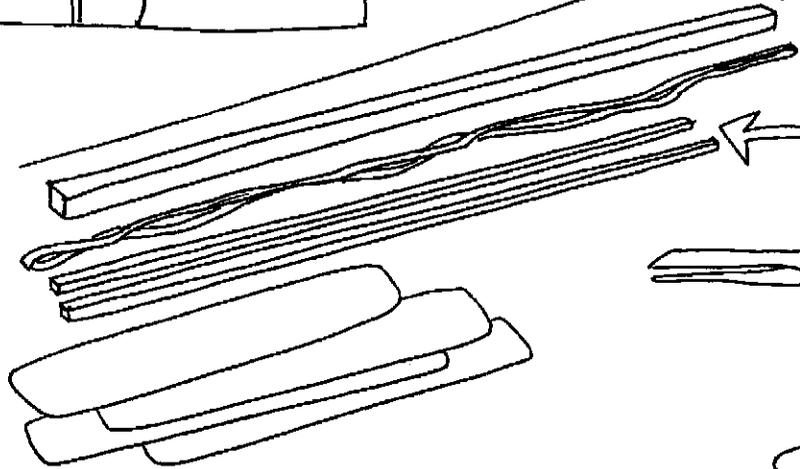
Elástico

Dois paus de balsa de secção quadrada 3 x 3

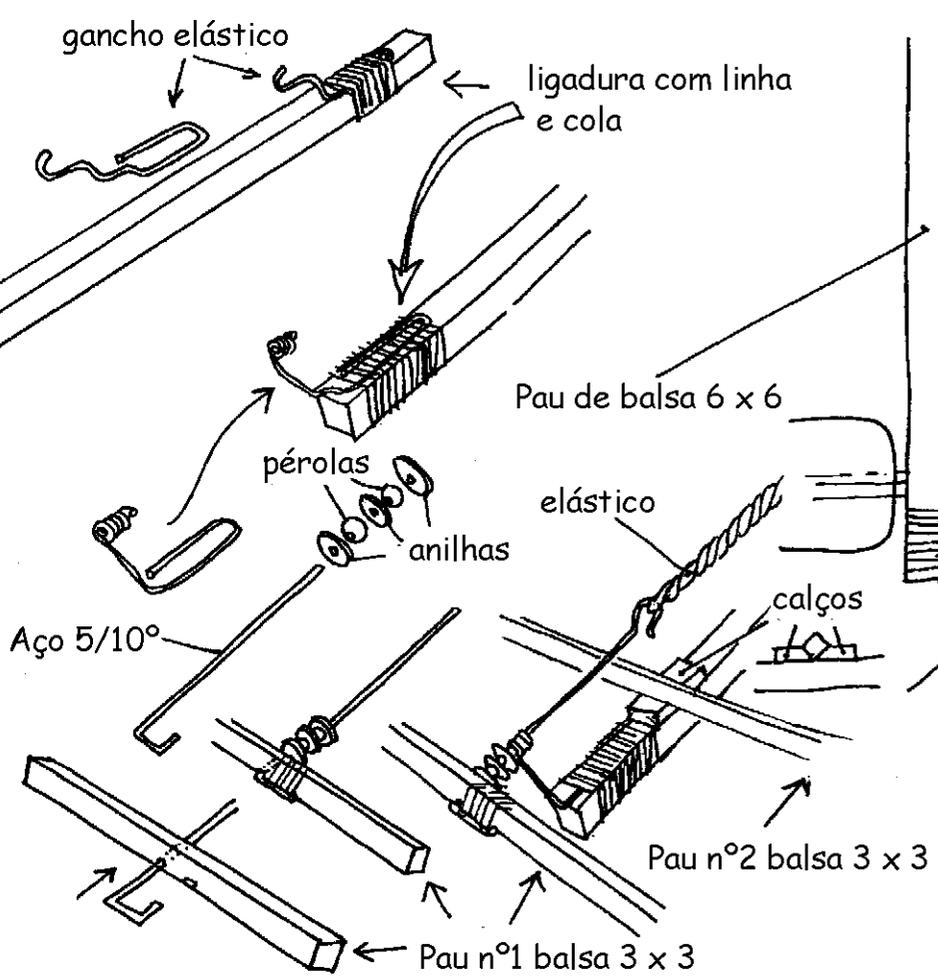
pérolas perfuradas

Quatro ripas em bristol

anilhas



A parte delicada consiste em torcer o fio de aço com a ajuda de duas pinças, de maneira a fabricar os seguintes elementos:



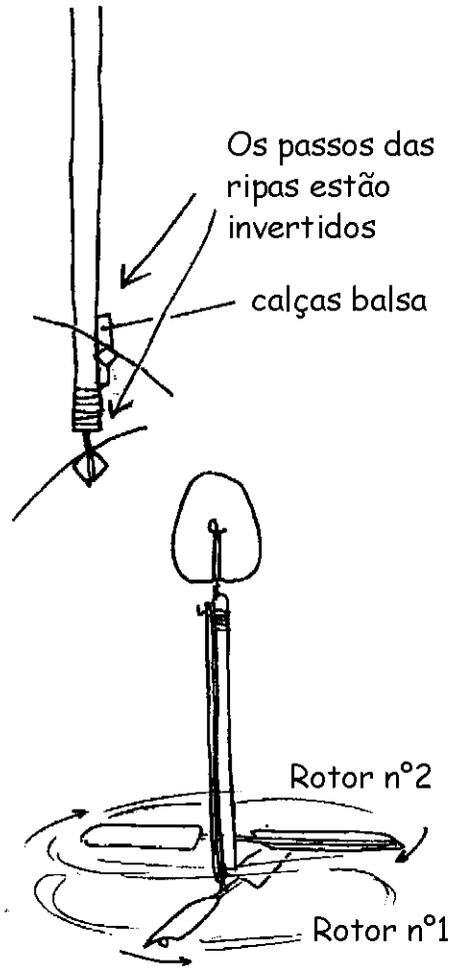
elástico

Ripa em bristol sobre pau de balsa 3 x 3

Ripa em bristol sobre pau de balsa 3 x 3

Os passos das ripas estão invertidos

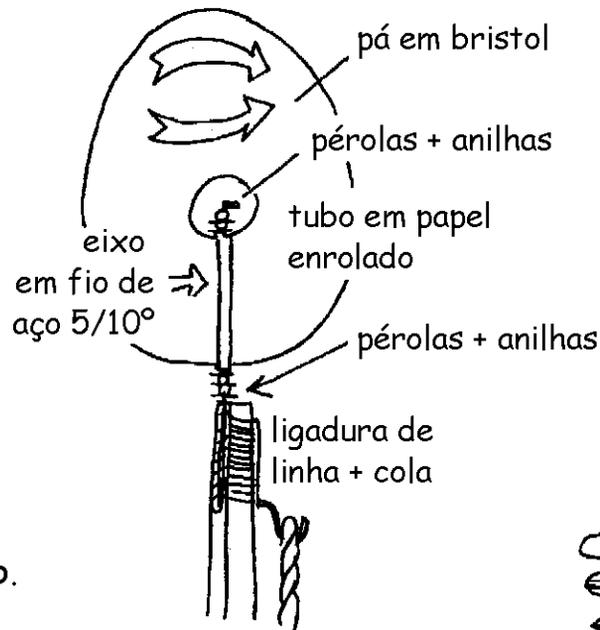
calças balsa



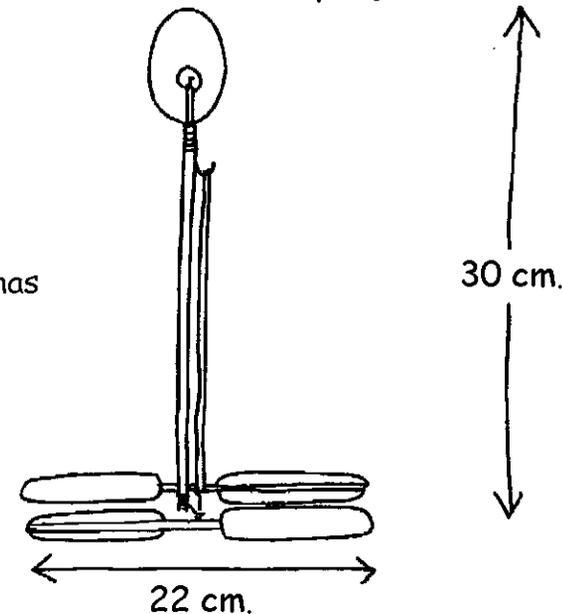
O elástico põe o rotor inferior (o número 1) a mover-se. Devido ao acoplamento, o rotor número 2, solidário com o pau de fuselagem, desata a girar em sentido oposto.

Montagem da pá superior, que confere auto-estabilidade à máquina.

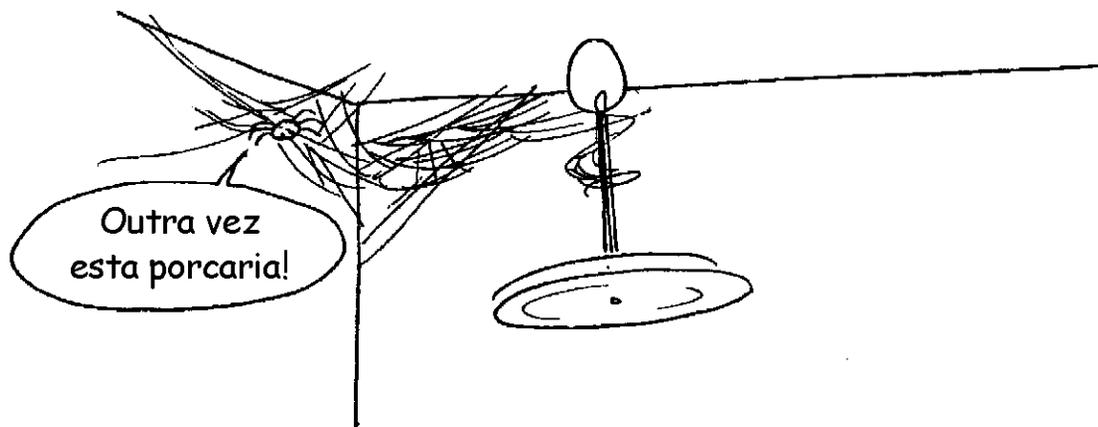
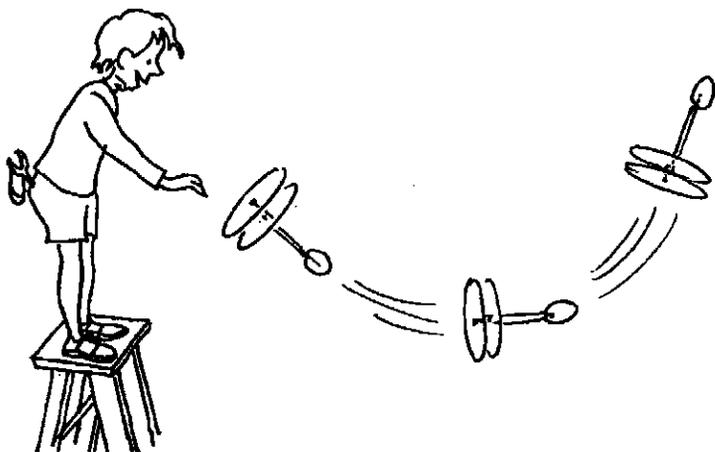
Enrolar uma tira de papel a um alfinete grosso, juntando um pouco de cola para fabricar um tubo de diâmetro reduzido.



Proporções

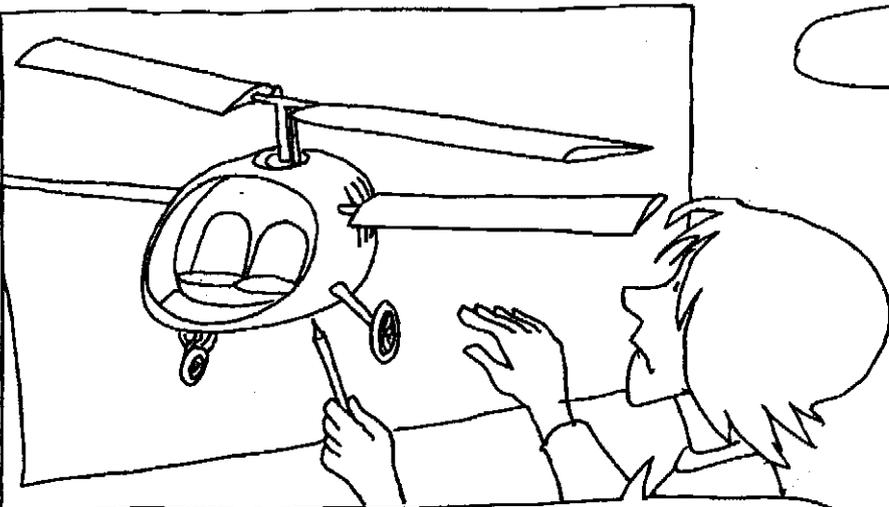


Quando o helicóptero se inclina, anda de lado. O esforço sobre a pá superior endireita-o. Libertado a si mesmo, sobe aos baloiços (*).

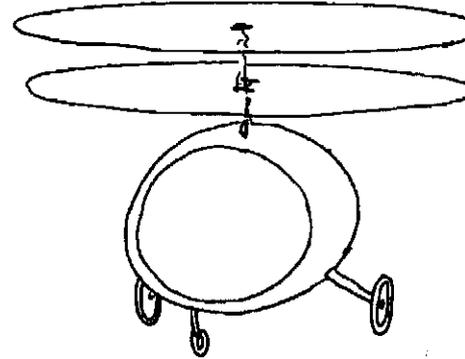


(*). Quando eu era criança, usava este utensílio para tirar as teias de aranha, agarradas ao tecto do castelo de Thiers, em Sèvres (França).

Cândido pensara em diferentes hipóteses.

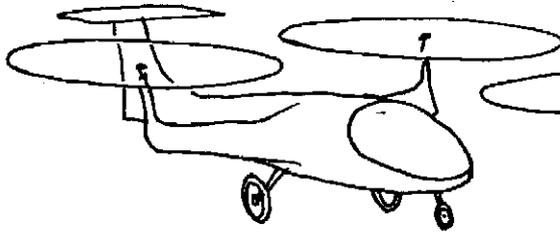


Não, que disparate! Uma pessoa não se vai sentar numa cabina que gira.



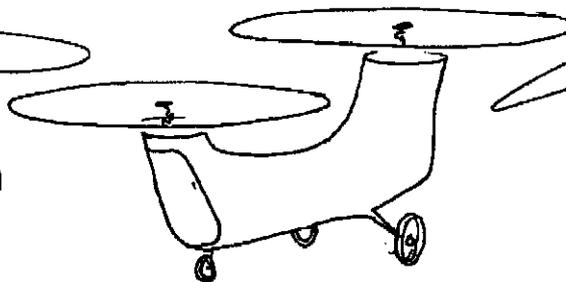
Dois rotores contra-rotativos, inventados pelo Francês Launay e difundido pelo Russo Kamov.

Rotores laterais



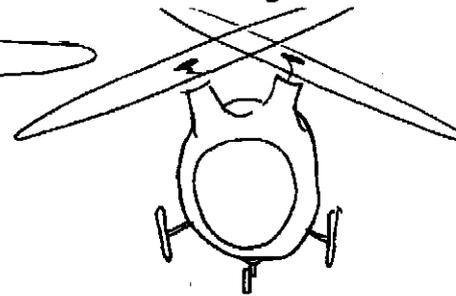
inventado pelo Inglês Cayley, retomado pelo Alemão Focke.

Rotores em tandem



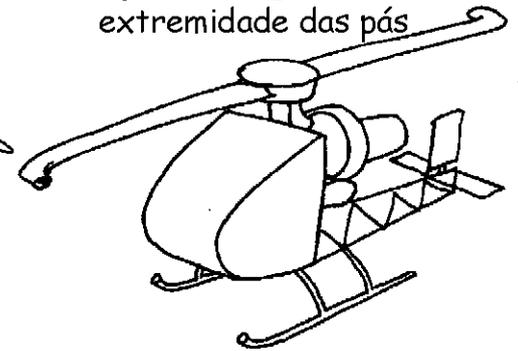
inventado pelo Francês Cornu, desenvolvido por Piasecki.

Rotores engrenados



pelo Alemão Fletner, desenvolvido por Kaman.

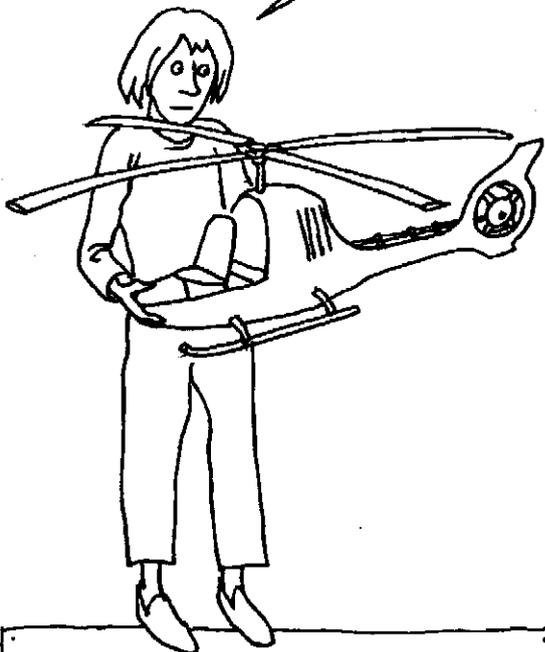
Ejecção de gás na extremidade das pás



(pelo Francês Morain)

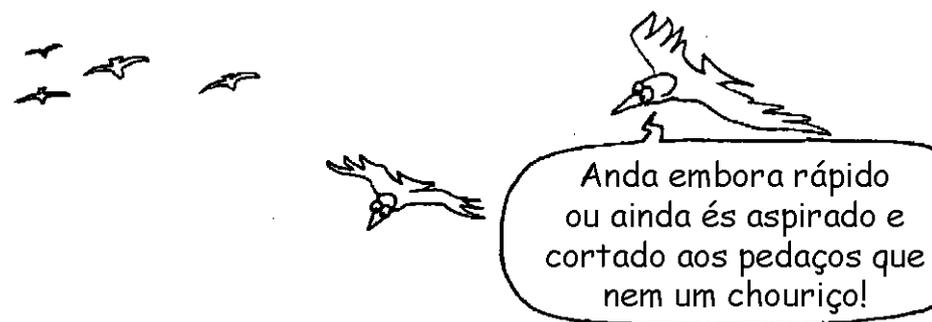
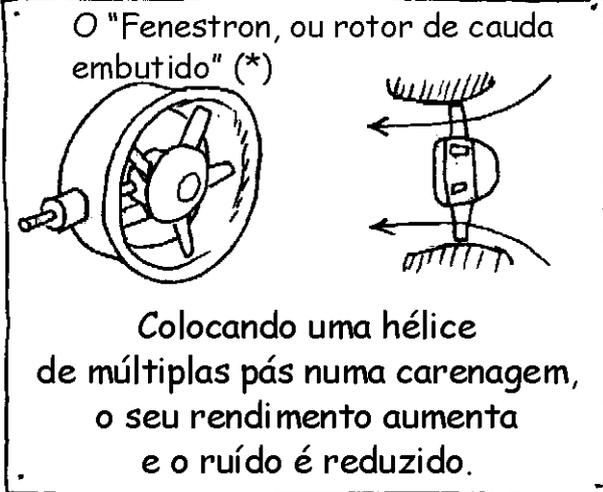
Yves le Bec escreveu uma obra, que ilustrou com excelentes desenhos, intitulada "La véritable histoire de l'hélicoptère, de 1486 à 2005", publicada pelas edições Ducret S.A. CH-1022 Chavannes-près-Renens. ISBN 2-8399-0100-5, na qual encontrarão todos os modelos de helicópteros imaginados pelo Homem.

Vou colocar um rotor único na extremidade de uma empenagem. Acoplando-o mecanicamente ao rotor principal, a coisa deve funcionar. Assim que eu aumentar o regime do motor, o rotor da cauda seguirá, ficando a compensação do par automaticamente assegurada.



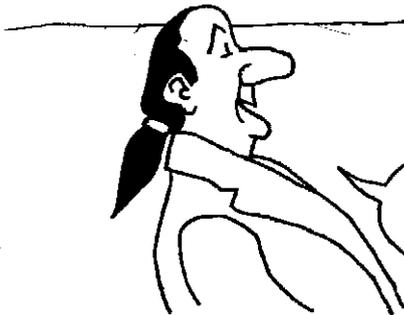
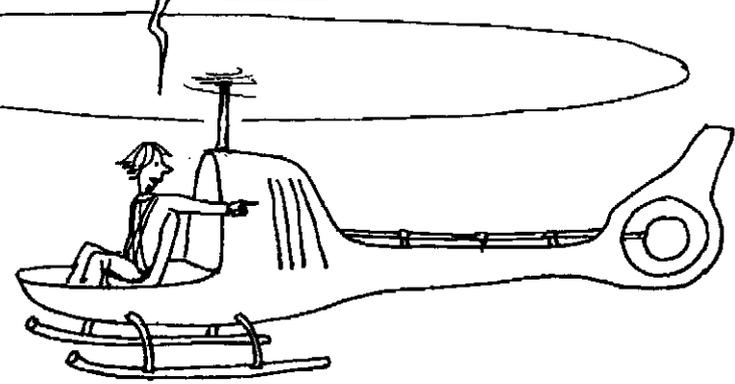
O rotor de cauda único foi inventado pelo Russo Yuriev e desenvolvido por Igor Sikorsky.

(*) O Fenestron foi introduzido pelo Francês Mouille



Anda embora rápido ou ainda és aspirado e cortado aos pedaços que nem um chouriço!

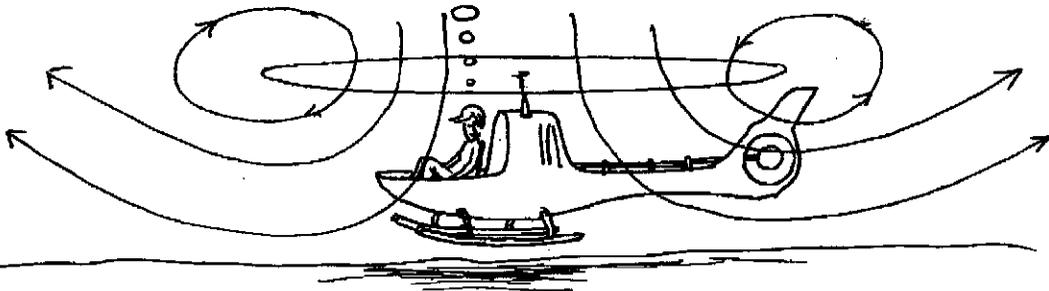
Pangloss, agora sim, consegui !



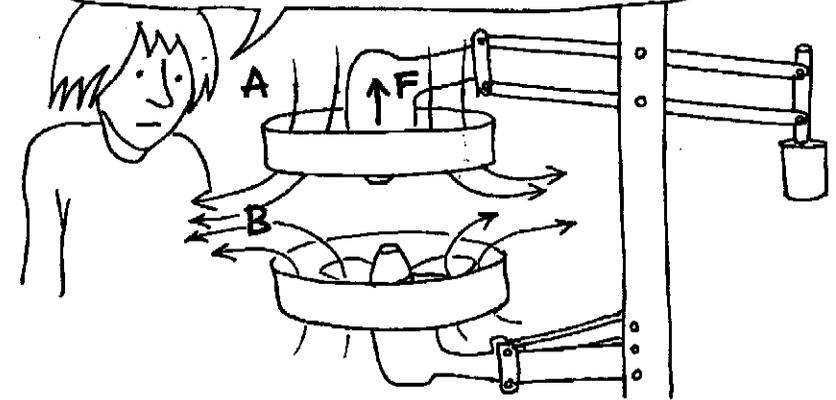
Mais uma prova de que tudo funciona da melhor forma na melhor das aeronáuticas possíveis.

EFEITO DE SOLO

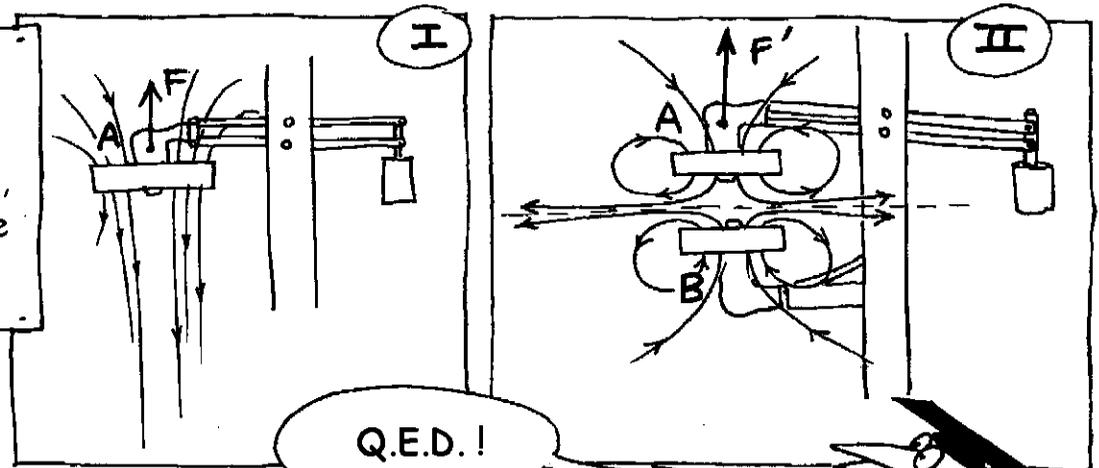
É curioso. Perto do solo, consigo manter-me com uma potência sensivelmente mais fraca (*)



Esta máquina não passa de um grande ventilador. Vou pôr dois a trabalhar, virando-os frente a frente.



A um regime igual, a força ascensional que é exercida sobre o ventilador A é mais importante quando funciona virado de frente ao ventilador B, o qual empurra ar para o sentido contrário do que se o ventilador A estivesse sozinho.



O fluxo II é o mesmo do que se se pusesse o ventilador A a trabalhar de frente para o solo.



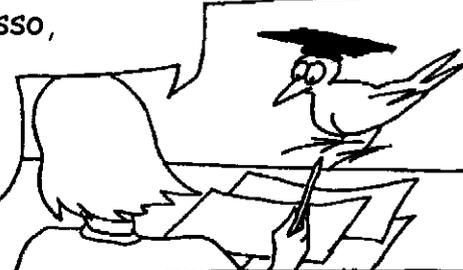
(*) O efeito de solo torna-se considerável quando o rotor está a uma distância do solo igual ou inferior à metade do seu diâmetro.

AUMENTO DE RPM

O meu rotor tem um passo fixo. Mas por que valor devo optar? Quanto maior é o passo, mais elevada é a incidência das pás e, por isso, mais relevante é o arrasto que trava a rotação das pás...



Se o meu motor, por algum motivo, sofrer uma perda de potência, o arrasto acabará por desacelerar a sua rotação (*). Se a velocidade correspondente ao vento relativo diminuir, a perda irá estender-se a todo o perfil. E se isso acontecer, adeus meu rico mundo! Preciso de reduzir, o quanto antes, o passo, metendo os gases a fundo para manter, custe o que custar, o regime do rotor e assim recuperar rotações.



Conta lá o que ele disse...

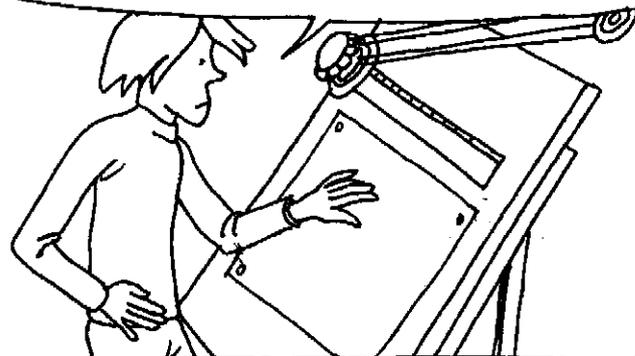


Não disse nada que te diga respeito! Não tens nenhuma parte giratória, que eu saiba...

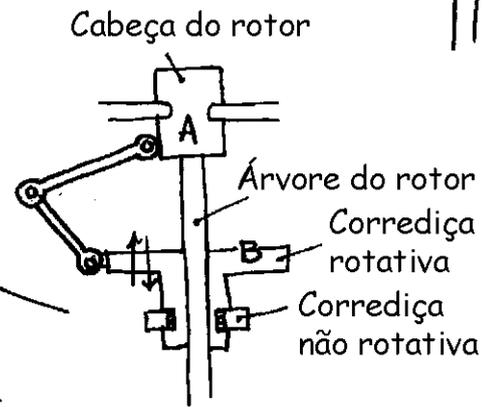
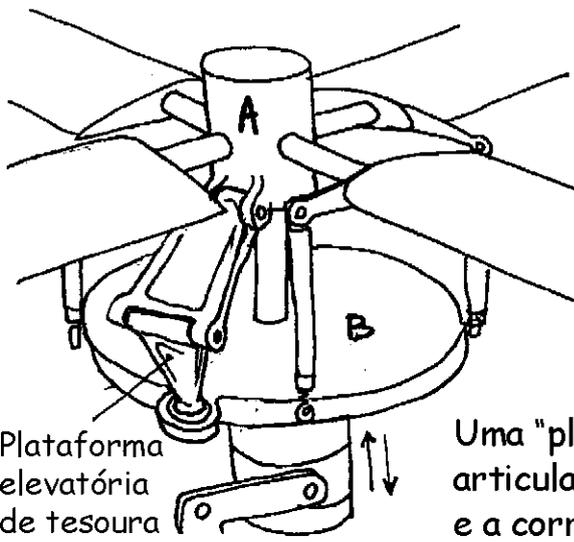
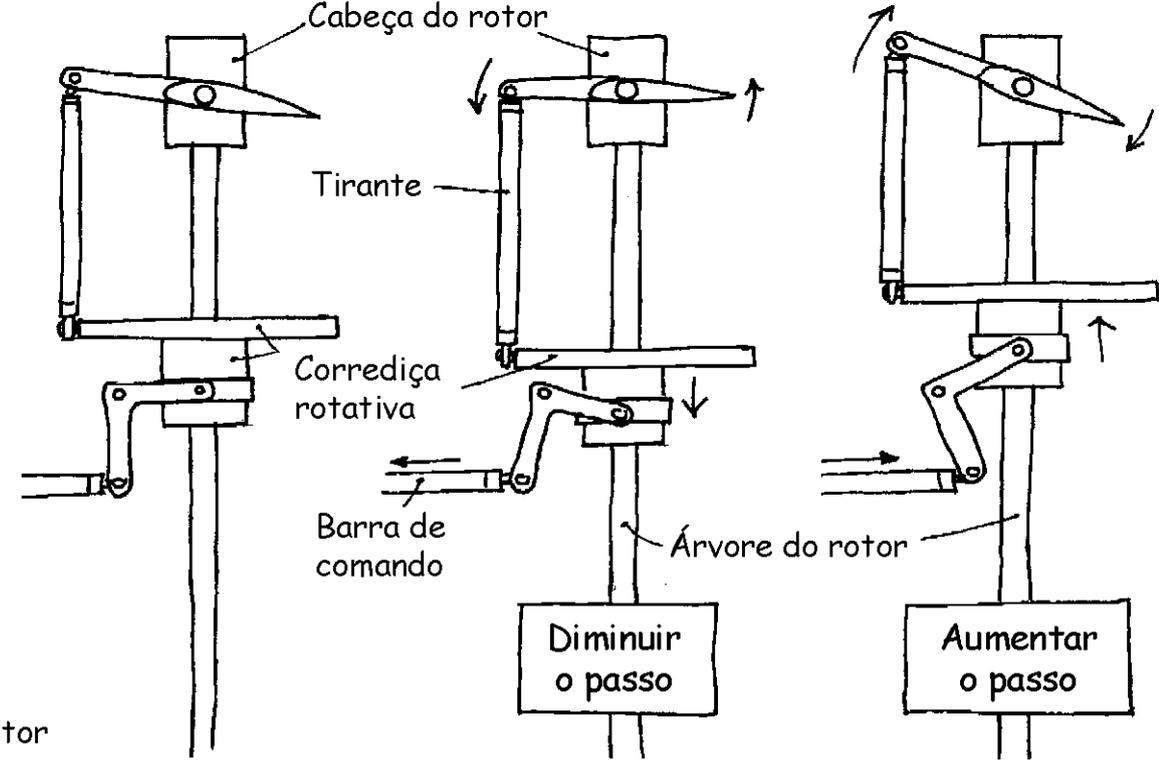
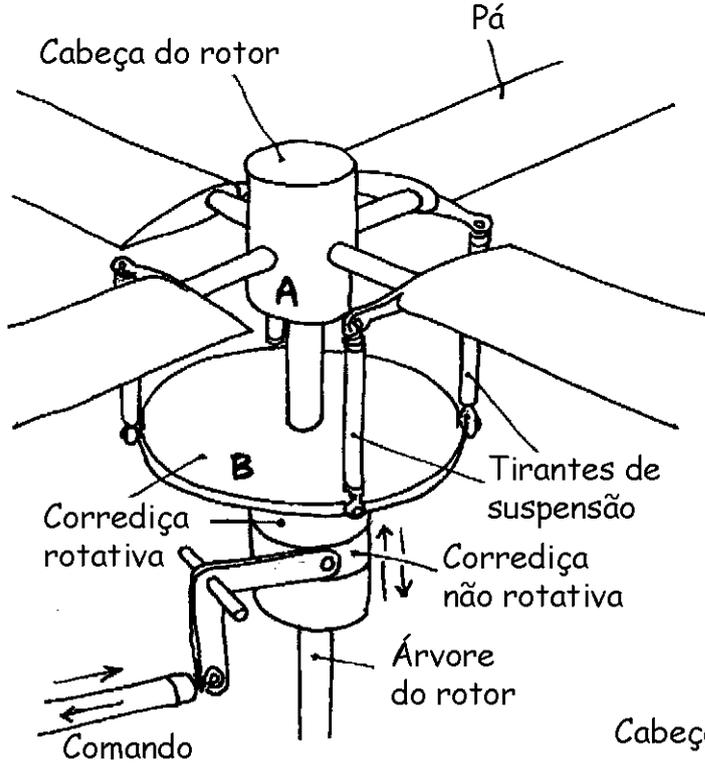
Pois... se calhar, não.



Tenho de dar um jeito de modificar o passo, isto é, o ângulo de ataque das pás, quando estiver em pleno voo.



(*) Um rotor cujo motor parasse repentinamente de funcionar seria perigosamente travado em apenas... um segundo!



Uma "plataforma elevatória de tesoura" articulada obriga a que o rotor A e a corrediça B girem à mesma velocidade angular.

Com um sistema deste tipo, pode-se fazer variar colectivamente o passo das pás de um rotor actuando sobre uma corrediça não rotativa B, unido por um par de rolamentos a uma corrediça A, a qual retransmite a ordem às pás por intermédio dos tirantes.

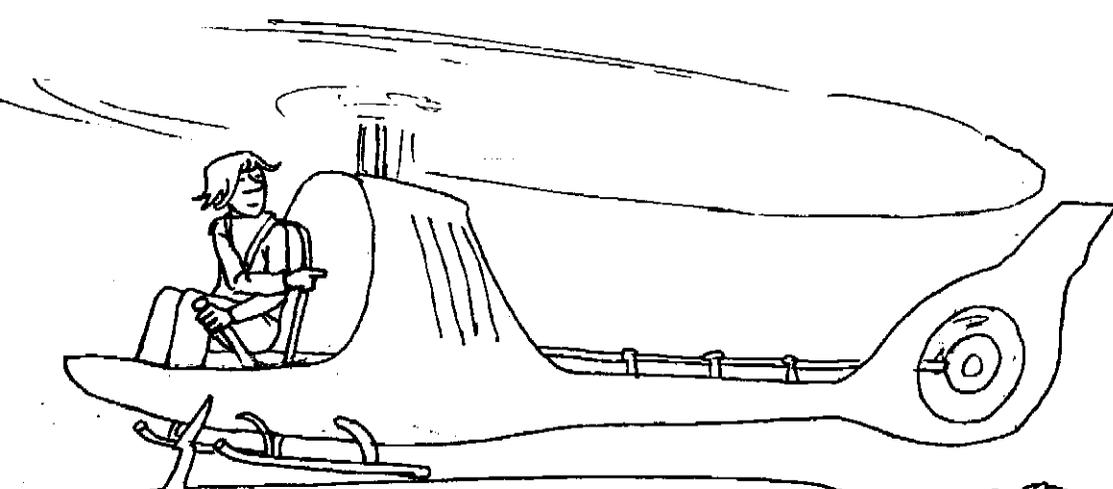
A Direcção

Adaptei uma articulação de controlo que me permite fazer variar à vontade o passo geral com a ajuda de uma alavanca, a partir do meu cockpit.

Até pus o comando de aceleração nisso

Punho rotativo: comando de aceleração (dos gases)

Alavanca para cima: aumentar o passo
Alavanca para baixo: diminuir o passo

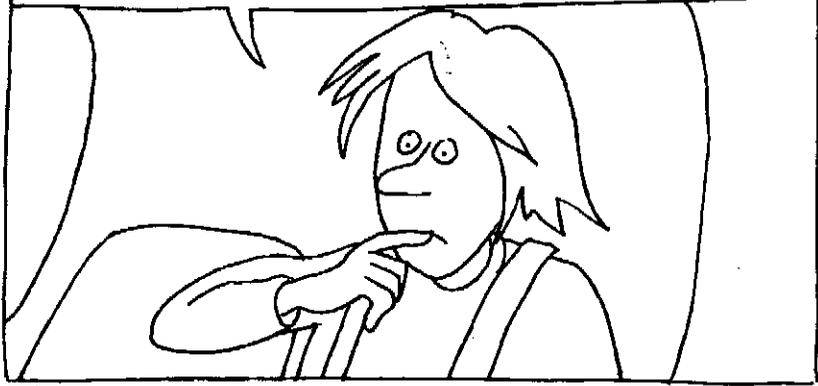


Bem, adaptei o mesmo sistema no rotor de cauda, único, a fim de evitar desvios bruscos sempre que modifico o passo geral. E acrescentei um comando nos pés, um pedal, com o qual posso dar voltas no mesmo lugar.



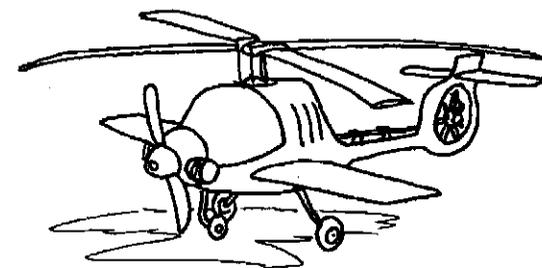
Como? Não ouço nada...

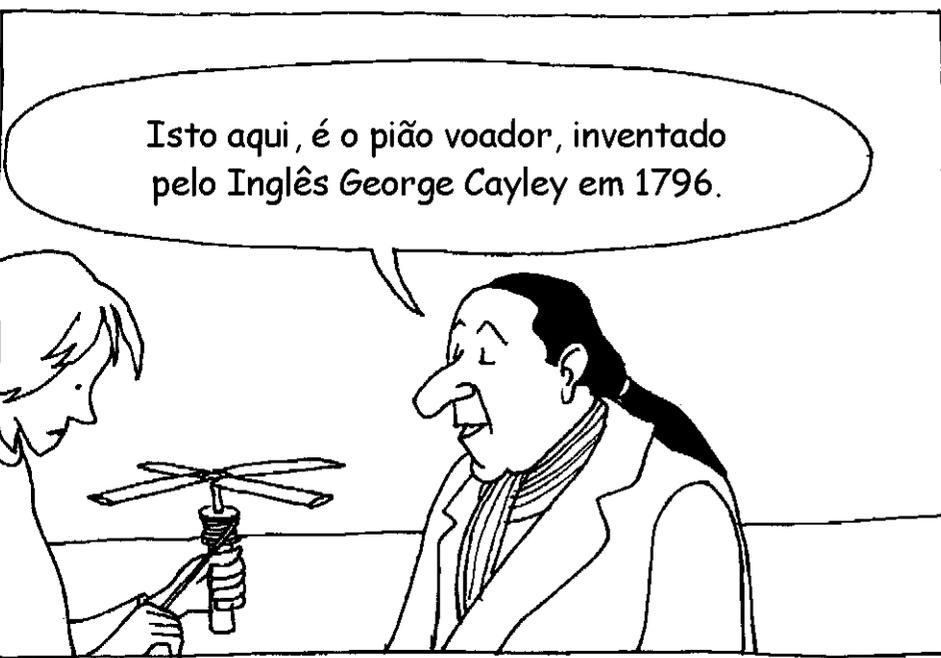
Bem, concebi esta máquina voadora, capaz de nos transportar aos dois, a Cunegundes e eu. Posso subir, descer, girar sobre mim mesmo à vontade. Resta uma dúvida: como avançar?



E que tal se acrescentar uma hélice, uns lemes?

Tudo isso parece-me bastante complicado.





Isto aqui, é o pião voador, inventado pelo Inglês George Cayley em 1796.



Olhe só para isto!

Se eu conseguisse inclinar o rotor, a máquina deslocar-se-ia sozinha, na horizontal.

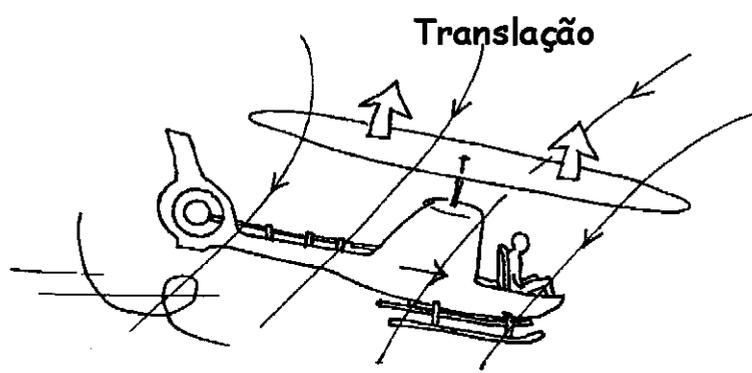
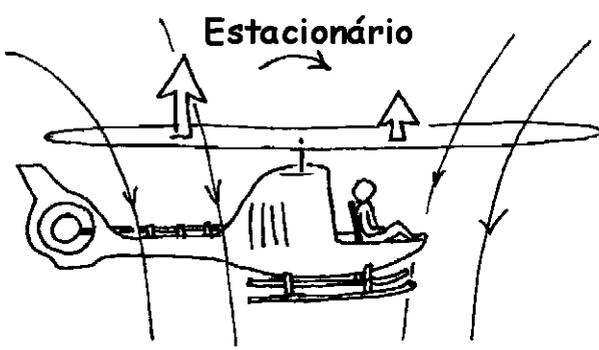


Talvez se consiga deslocar na cabina. Isso modificaria a posição do centro de gravidade.

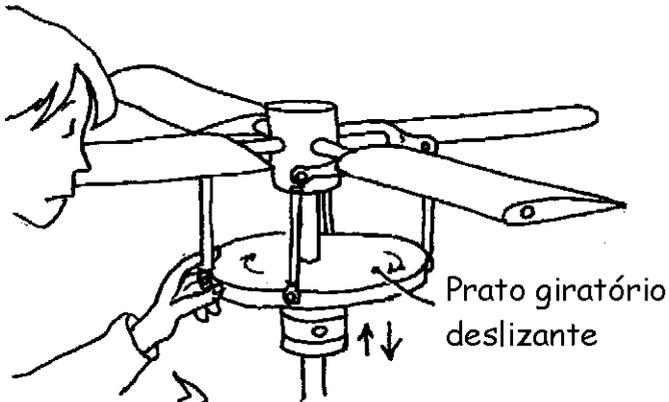
E quando a Cunegundes fosse a entrar, como haveria eu de equilibrar esta coisa toda?



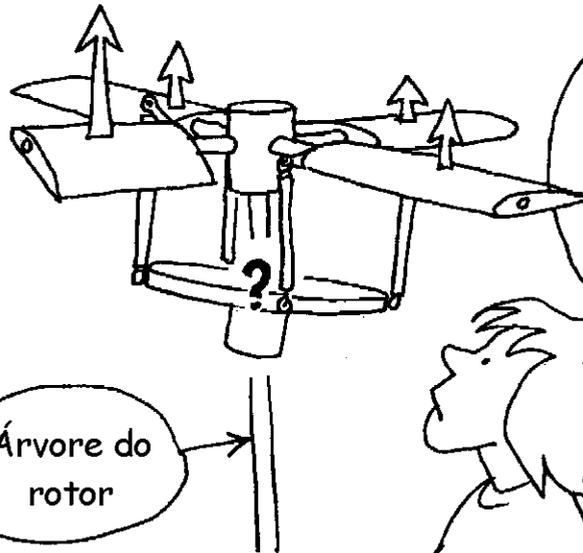
Tenho de arranjar outra solução.



Se eu fosse capaz de aumentar a sustentação das pás do meu rotor, quando se encontrassem voltadas para trás, e de a reduzir, quando estivessem voltadas para a frente, por intermédio de uma **variação cíclica do passo**, a minha máquina conseguiria imprimir um movimento de baloiço e transladar.

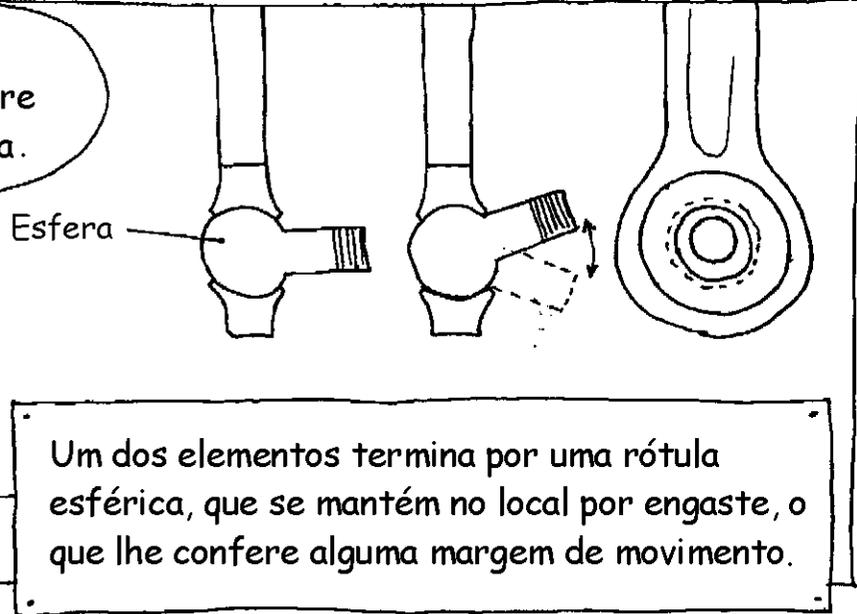
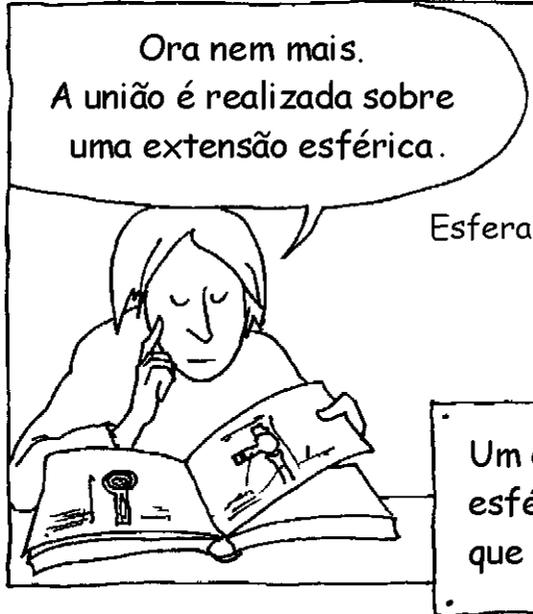
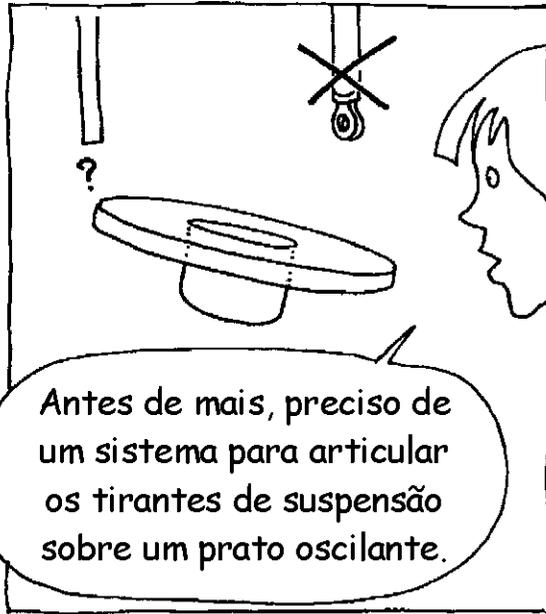


O passo das minhas pás é dado pela posição de um prato giratório, a deslizar sobre a árvore do rotor.



Se eu conseguisse fazer com que este prato apresentasse uma inclinação, não deixando de girar, poderia criar uma **variação cíclica do passo (*)** das pás. Mas como articular e controlar esta tralha toda?

(*) Inventado pelo Espanhol Pescara, que introduzira o conceito da auto-rotação.



A vida de um piloto de helicóptero está ligada a uma mecânica complexa, em que se põe em jogo tirantes de suspensão deste género, engrenagens, rolamentos, devendo todos estes elementos ser fabricados com a máxima precisão, controlados e substituídos periodicamente. Os custos de fabrico e de manutenção são mais elevados do que para um avião. Desde os anos setenta que se tem recorrido a novos materiais: compósitos, elastómeros, componentes de auto-lubrificação, permitindo assim reduzir a complexidade, o peso, os custos de fabrico, o ritmo da manutenção, ganhando fiabilidade, mas isso já se afasta do âmbito da presente obra.

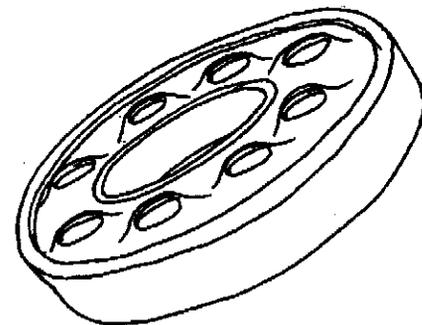
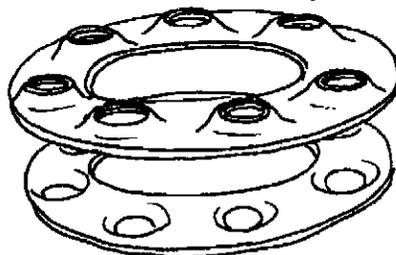
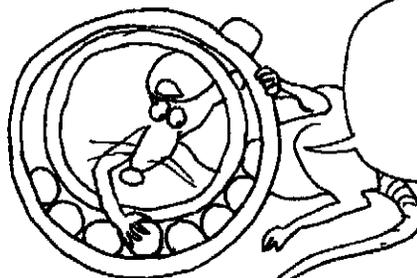


Se há um elemento que é fundamental é o rolamento de esferas.



Mas como hei-de fazer para que estas malditas esferas entrem?

Ao descentrar os anéis, pode-se introduzir um certo número de esferas.

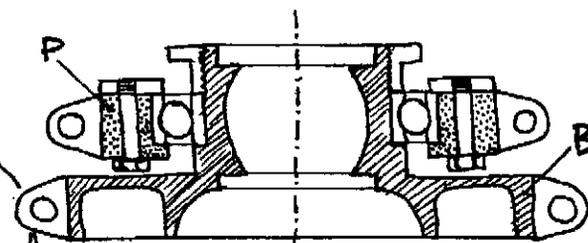
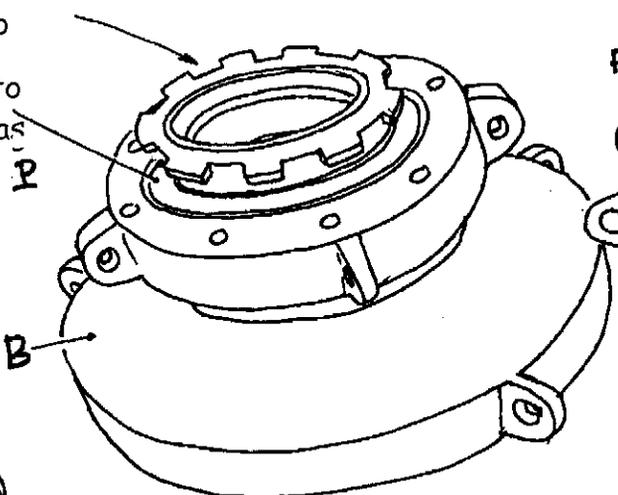
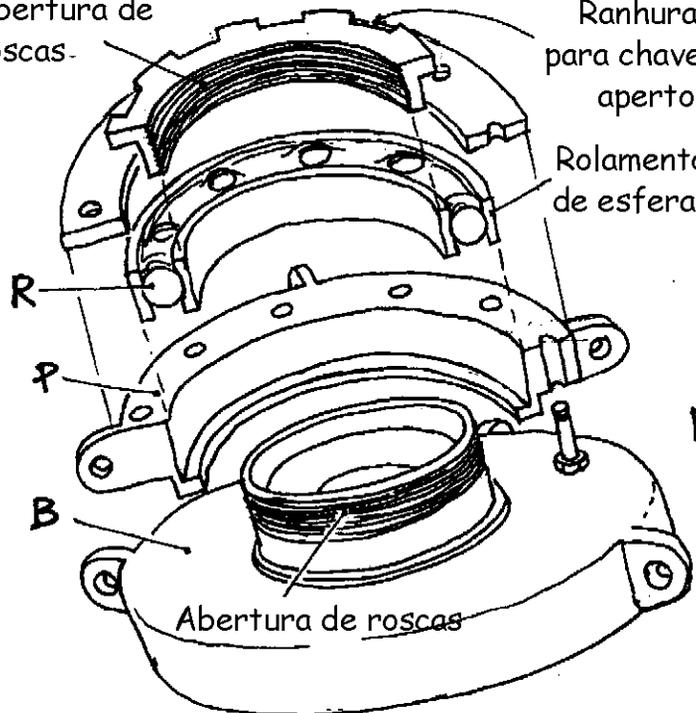


Estas são depois mantidas no seu lugar por uma caixa constituída por dois elementos que são soldados, engastados ou colados

Abertura de roscas.

Ranhas para chave de aperto

Rolamento de esferas

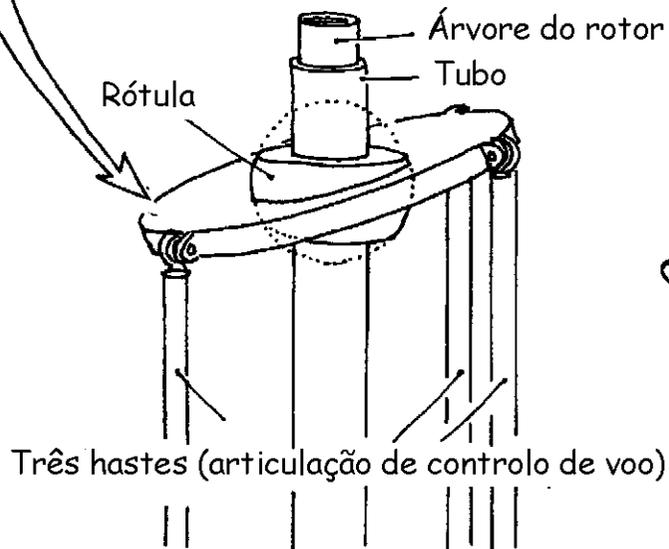


Este rolamento permite a dois pratos, um rotativo P e o outro, B, não rotativo, de se moverem um em relação ao outro ficando coaxiais.

Não se ofenda com o que lhe vou dizer, amigo, mas o seu avião, no plano mecânico, comparando com este, é uma treta.



Sobre essa rótula irá rodopiar um prato B, não rotativo, cuja orientação será fixada pela articulação de controlo de voo.

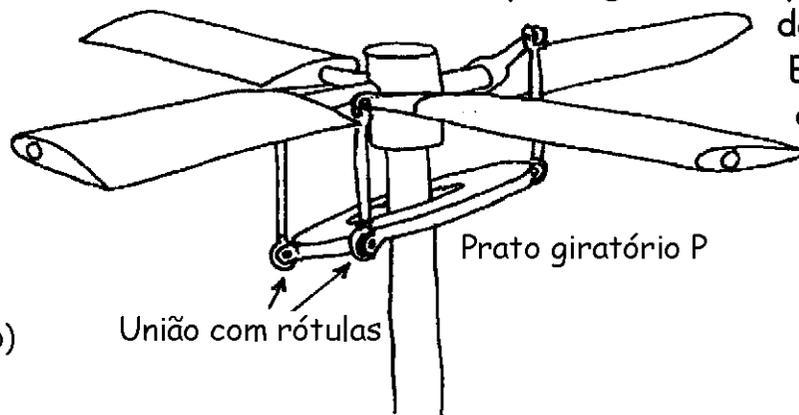


Para endireitar algo que funcione torto, a solução é a RÓTULA.



Uma rótula que deslizará sobre um TUBO dentro do qual girará a ÁRVORE DO ROTOR.

O prato não giratório B será solidário com um prato giratório P por intermédio de um rolamento de esferas (ver página anterior). Esse prato giratório controlará a inclinação das pás através de varetas de mudança do passo.



Antes de concluir este estudo sobre o prato cíclico, ainda restam dúvidas por esclarecer. Primeiro: como solidarizar o prato giratório P com a cabeça do rotor?
Não vamos delegar esta tarefa aos frágeis tirantes de suspensão, pois não?

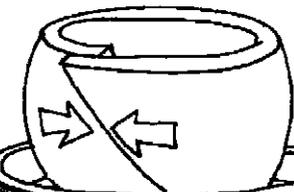
Não, alguma tesoura há-de ficar com esse cargo. E poremos o mesmo dispositivo entre o prato rotativo B e estrutura do helicóptero.

Segunda questão: como colocar a rótula no lugar, situado no prato B?

A rótula é um anel em politetrafluoretileno, fendido, cuja extensão interna é cilíndrica e a extensão externa é esférica. Quando deformada, como se vê na ilustração, pode-se fazê-la deslizar no lugar sem problemas. Depois, pode-se inserir tudo dentro do tubo dentro do qual gira o eixo do rotor.

Prato não giratório B

Síntese na página seguinte →



Cabeça do rotor

Plataforma elevatória de tesoura

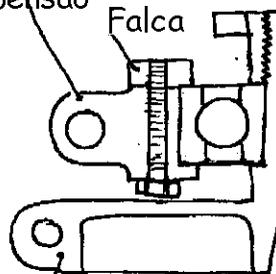
Varetas de mudança do passo

Prato giratório P

Uniões com rótulas

PRATO CÍCLICO

Presilha para tirante de suspensão



Presilha para articulação de controlo

Árvore do rotor

Tubo

Árvore do rotor
Braçadeira de fixação para a plataforma elevatória de tesoura II -

Abertura de roscas

Plataforma elevatória de tesoura II

Porca de parafuso

Falca fixa por cavilhas

Prato giratório

Prato não giratório

Plataforma elevatória de tesoura I

Presilha para varetas de mudança do passo

Presilhas para articulação de controlo

Tubo

Presilha da plataforma elevatória de tesoura I

Anel em politetrafluoretileno, fendido, para permitir a montagem

Com extensão esférica (rótula)

Ranhas permitindo a adaptação de uma chave de aperto

rosca

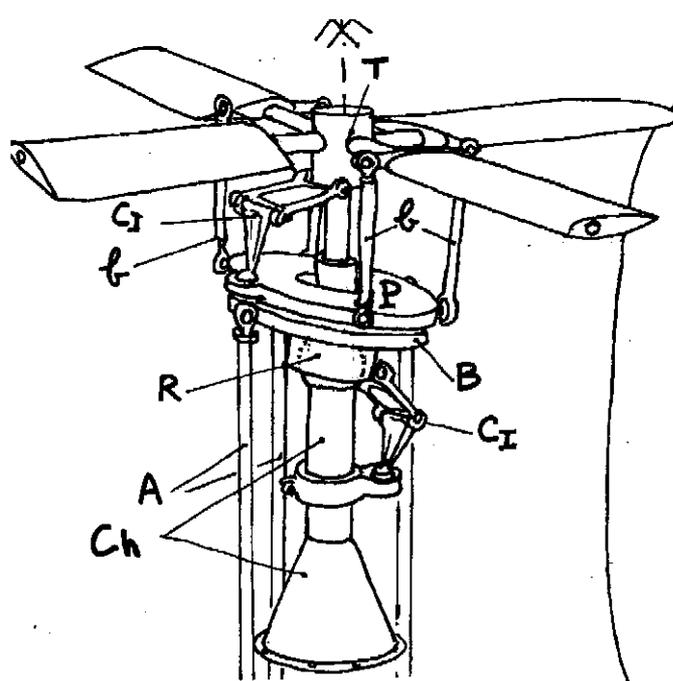
Extensão esférica

Abertura de roscas para inserção da porca de parafuso

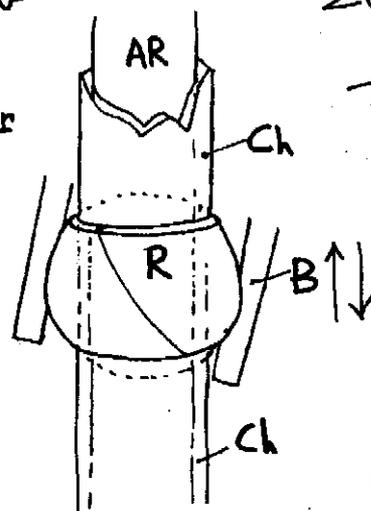
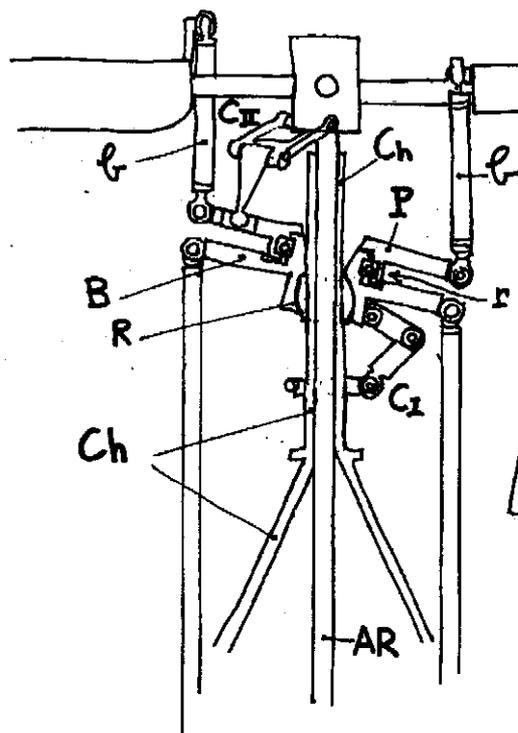
Presilha da plataforma elevatória de tesoura I

A hélico-mecânica requer truques de astúcia par dar com montagens simples, sólidas, leves, resistentes e com apenas meia-dúzia de peças.





Voltemos agora para uma descrição esquemática mais perceptível. A articulação de controlo **A**, constituída por três barras, faz subir, descer e balançar em todas as direcções um prato não giratório **B**, guiado pela rótula **R**, a qual desliza livremente sobre o tubo **Ch**, solidário com a estrutura do helicóptero. Uma primeira **PLATAFORMA ELEVATÓRIA DE TESOURA CI**, fixa sobre o tubo **Ch**, opõe-se a qualquer movimento de rotação do prato **B** em relação à estrutura do helicóptero (tubo **Ch**). O prato giratório oscilante **P** está unido através de um rolamento **r** ao prato não giratório **B**. A altura do prato **B** é fixada pelo piloto por meio da articulação de controlo **A**. O prato **P** transmite a ordem às pás por intermédio dos tirantes de suspensão **b**, e uma segunda plataforma elevatória de tesoura **CII** torna a cabeça do rotor **T** e o prato giratório **P** solidários pois, na sua ausência, se as varetas de mudança do passo **b** tivessem de ficar com esse cargo, quebrariam imediatamente.

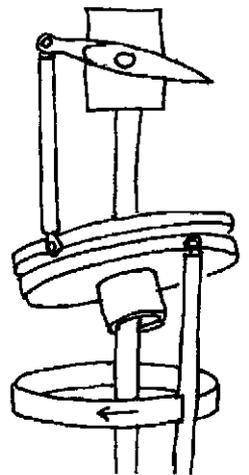
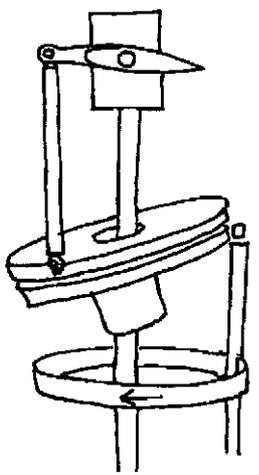
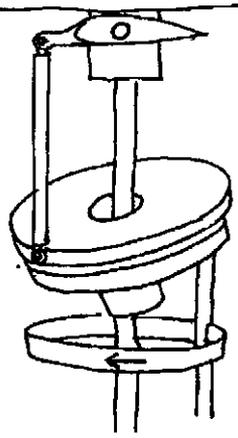


Agora, tenho de conceber **COMANDOS DE VOO** com os quais eu possa accionar as minhas três barras verticais.

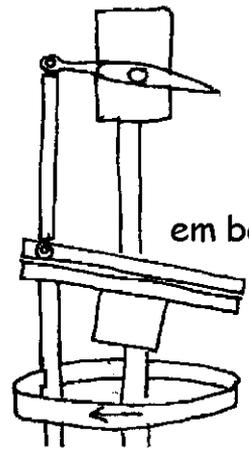
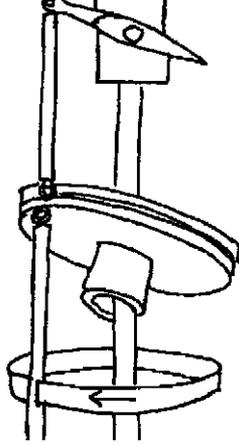
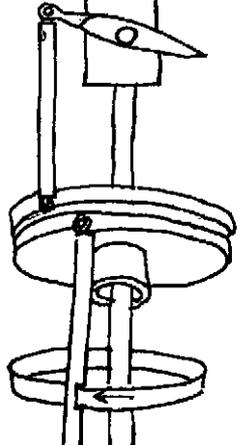


E... está no papo!

Incidência mín.

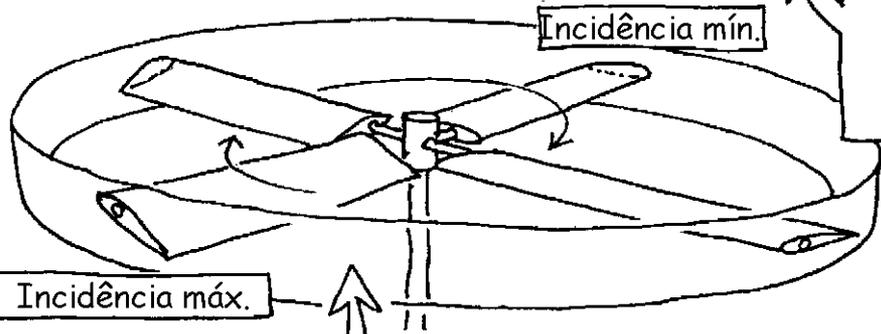


Incidência máx.



Etc...

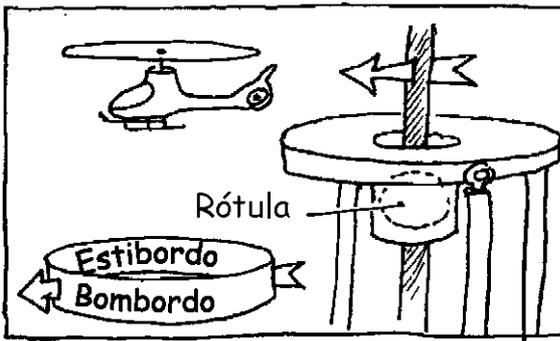
em baixo, o movimento aparente de uma das hastes de articulação de controlo.



Em cima, assiste-se a uma pá em pleno movimento. A sua incidência varia esporadicamente entre um valor mínimo e um valor máximo.

Incidência máx.

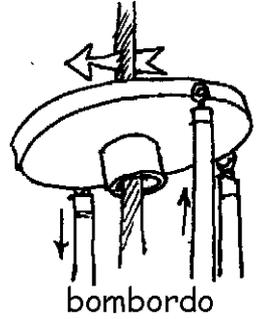
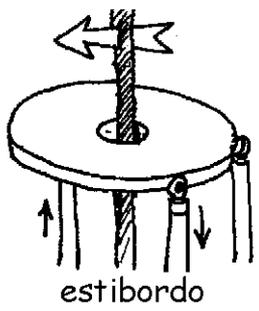
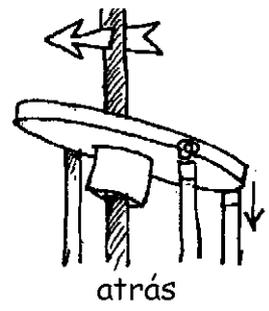
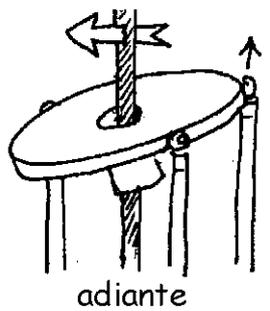
Aqui, as pás ocupam quatro posições diferentes no plano de rotação.

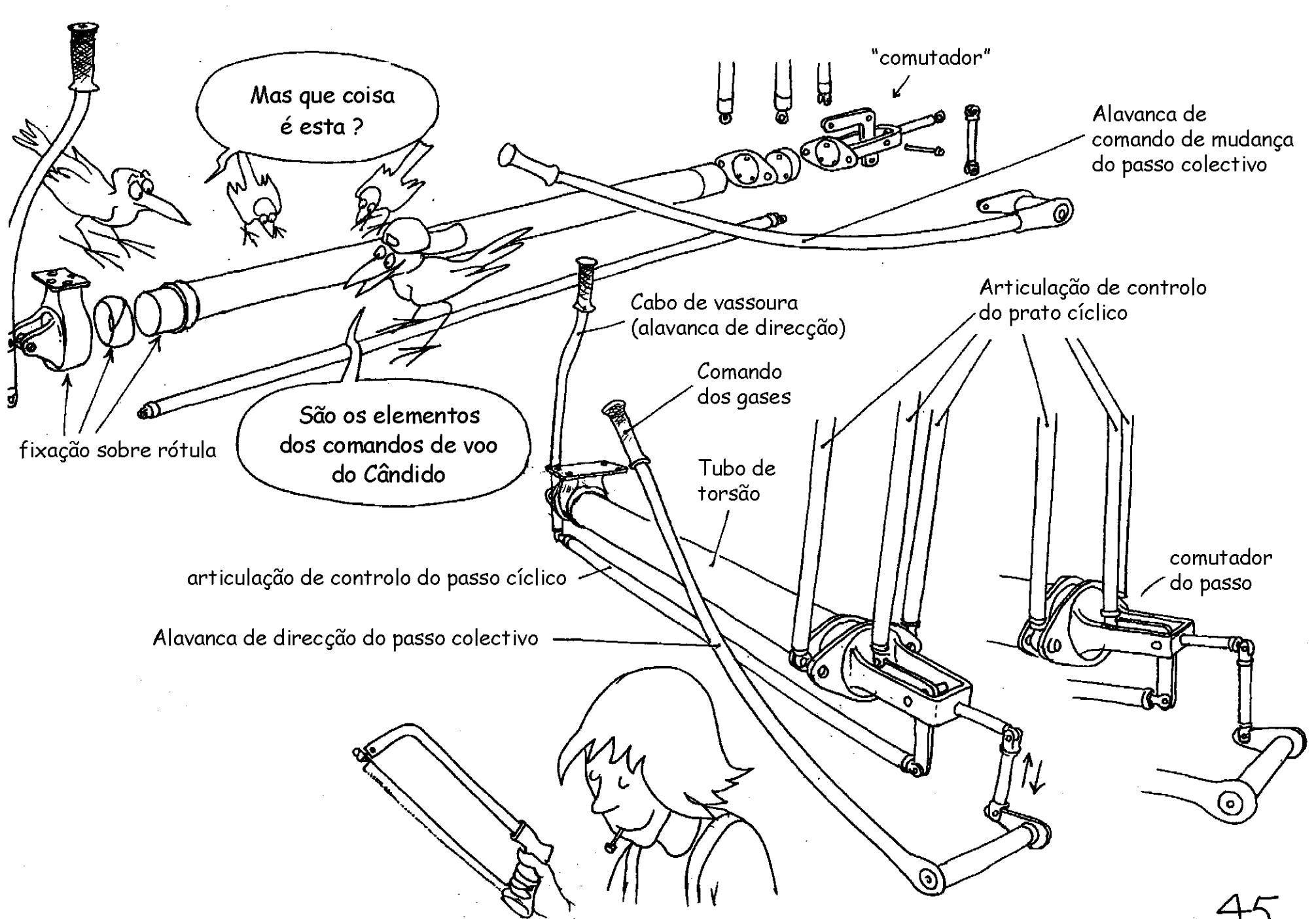


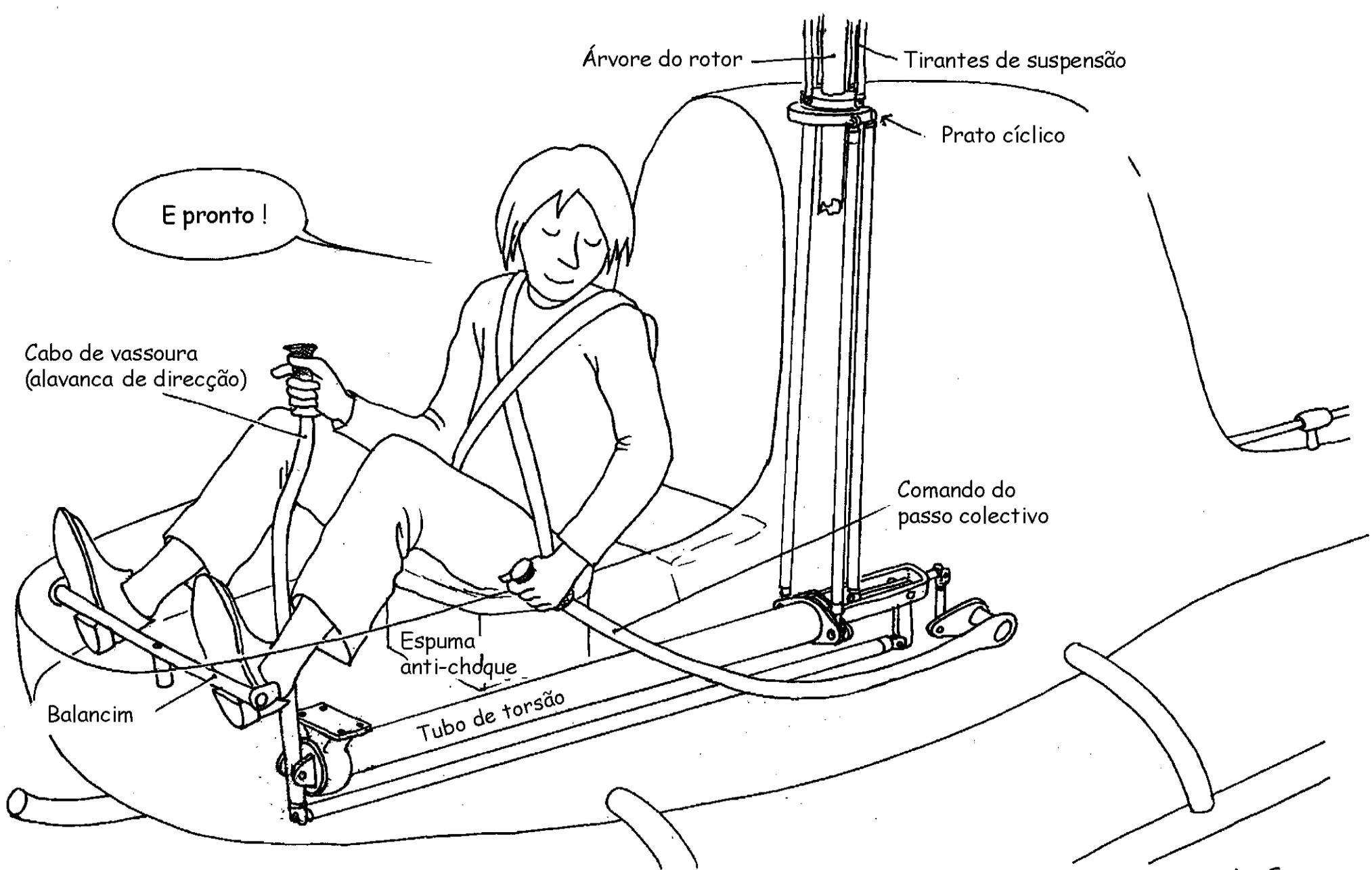
A seta aponta para a frente do aparelho.

Basta três hastes para controlar a altitude do prato não rotativo.

Pilotar o helicóptero aumentando a incidência da pá :





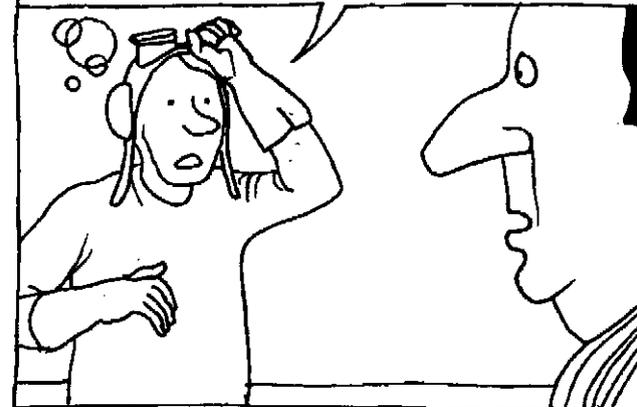


Desta vez, Pangloss, está tudo a postos! Vou libertar a menina Cunengundes.

Força nisso!

**PATAKLONK
PATAKLONK
PATAKLONK**

Mestre, que coisa horrível! Havia tantas vibrações que cheguei a pensar que a minha máquina ia acabar toda estilhaçada...



Mas essa até nem é a pior parte...

Eu estava mesmo convencido de que estava a por em prática a melhor das mecânicas de fluidos possíveis!

E então, o que mais o atormenta, meu bravo Cândido?

Acredite ou não, Meu Mestre, quando empurrei a alavanca para a frente...



A máquina começou a andar de lado, feita um caranguejo, para a direita



Foi aí que me lembrei de empurrar a alavanca para a esquerda

Começou a empinar como um autêntico cavalo enfurecido!



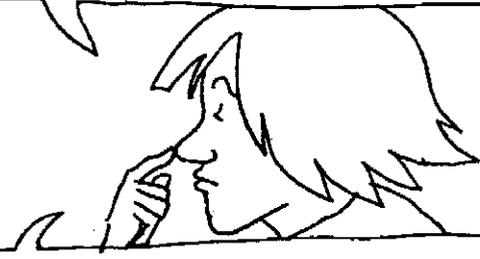
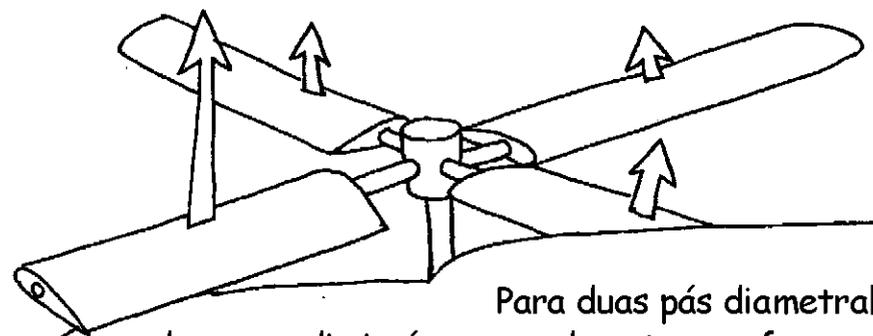
Começou a andar... para trás!

Com o deslocamento, foram surgindo vibrações tão fortes que cheguei a pensar que o rotor se ia partir todo e que aquele era o último momento da minha vida!



Mas que péssimas notícias! Então mas porquê que não chegou a remediar a situação usando o bom senso?

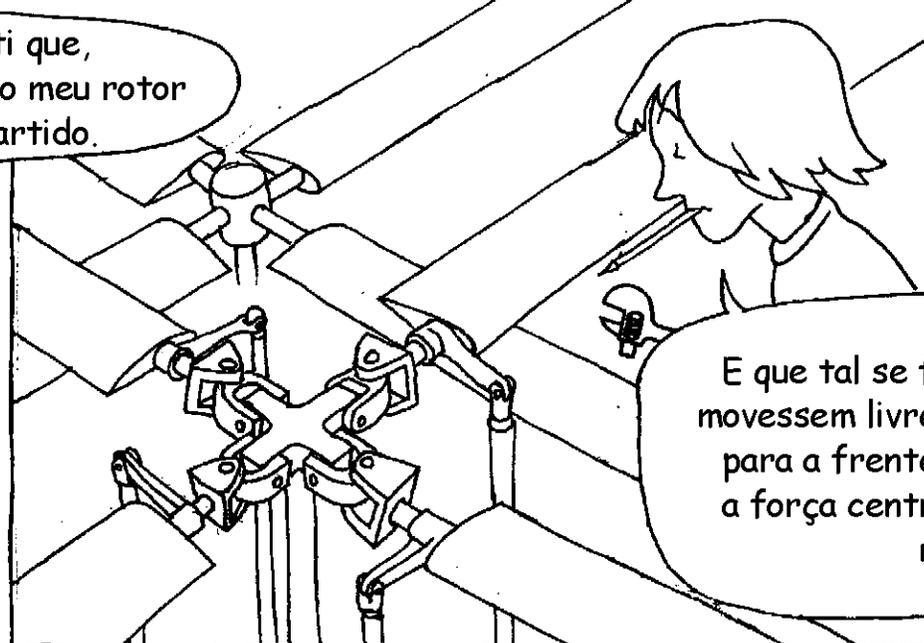
Eu bem que sentia a máquina a ser sacudida mal havia posto em prática a variação cíclica do passo. Era como se uma mão invisível tivesse agarrado o rotor pela metade. Mas, olhando melhor para a coisa, penso que já sei qual é a razão suficiente deste fenómeno.



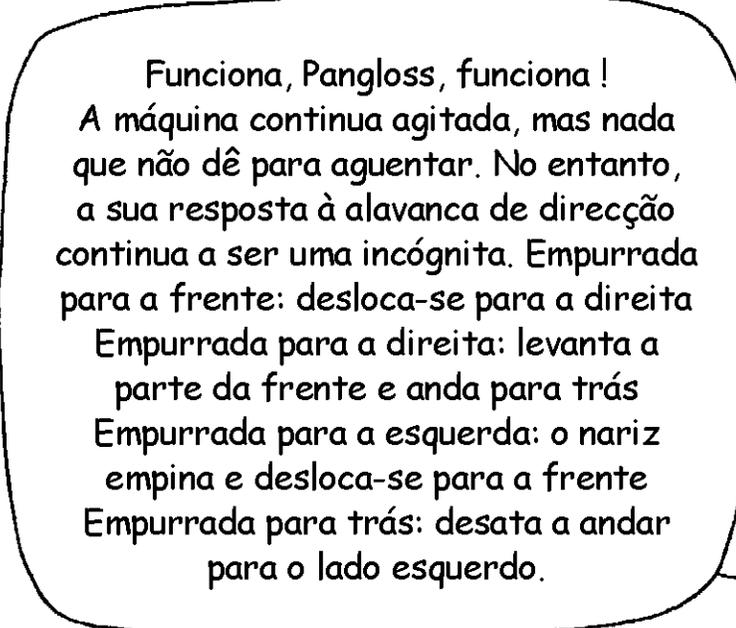
Para duas pás diametralmente opostas nas quais aumentei o passo de uma e diminuí o passo da outra, as forças aerodinâmicas divergem em intensidade e em direcção, o que explica estas vibrações de abanar o capacete...



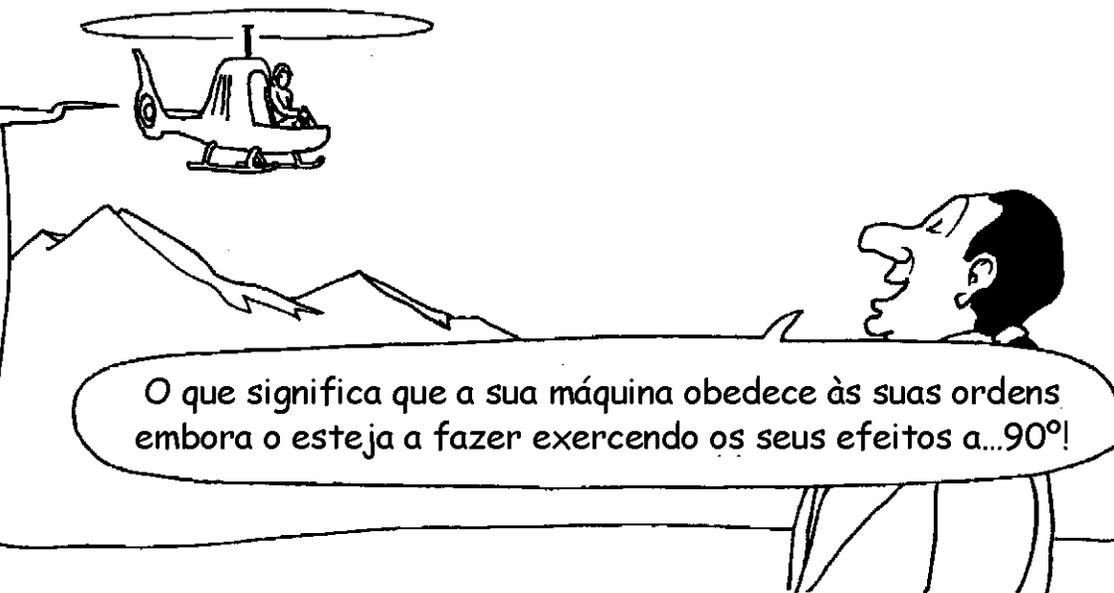
Eu bem que senti que, se tivesse persistido, o meu rotor se poderia ter partido.



E que tal se fizesse com que essas pás se movessem livremente, para cima, para baixo, para a frente e para trás, e deixasse que a força centrífuga se encarregasse de as manter seguras?

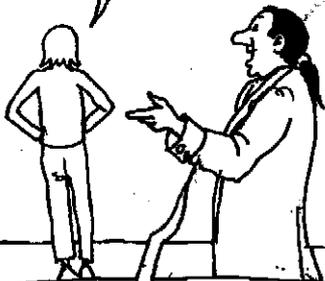


Funciona, Pangloss, funciona !
A máquina continua agitada, mas nada que não dê para aguentar. No entanto, a sua resposta à alavanca de direcção continua a ser uma incógnita. Empurrada para a frente: desloca-se para a direita
Empurrada para a direita: levanta a parte da frente e anda para trás
Empurrada para a esquerda: o nariz empina e desloca-se para a frente
Empurrada para trás: desata a andar para o lado esquerdo.



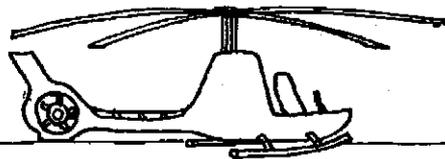
O que significa que a sua máquina obedece às suas ordens embora o esteja a fazer exercendo os seus efeitos a...90°!

Nem mais nem menos...
Mas que coisa mais absurda!

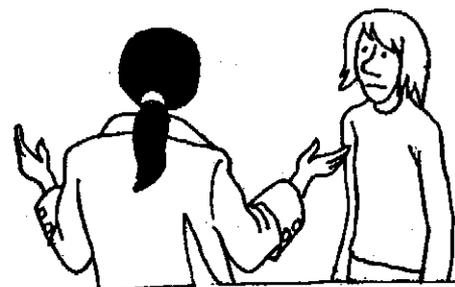


Bem, a solução está à vista :
Modifique os seus comandos
em consequência!

Recuso-me a estar a bordo de uma máquina cujo comportamento
está completamente fora do meu alcance, Meu Mestre!



Cândido, meu caro Cândido, quantas coisas nos parecem familiares embora a sua
essência nos continue a deixar na dúvida? Repare: o Sol gira em volta da Terra e
nós nem sabemos ao certo porquê; desconhecemos a natureza desse horror do
vazio que faz subir o mercúrio dos barômetros. A razão suficiente dessa energia
negra que provoca a reaceleração do nosso Cosmos continua a ser-nos alheia.
Acha que é motivo para nos abstermos de observar e de medir todos esses
fenómenos que a Natureza nos oferece?



E o que é feito do amor, Cândido, esses sentimentos
de ternura que sente pela menina Cunegundes?



Se esta mecânica do voo é a melhor
das mecânicas do voo possíveis,
então coitaditas das outras...





É por estas e por outras que se diz
que a mecânica de um helicóptero é
bem mais complexa do que a de um avião!

Ando às voltas e mais voltas...

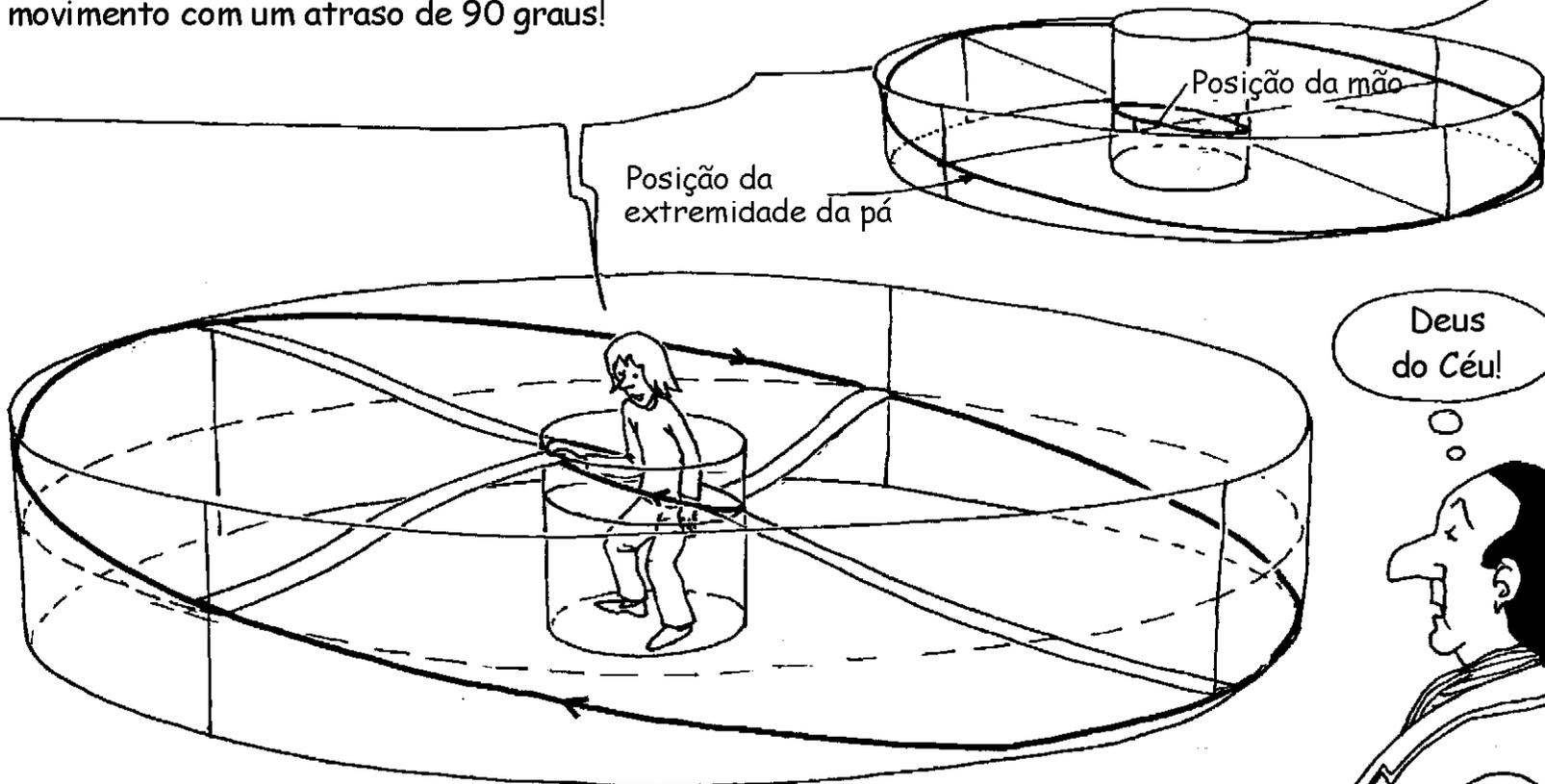
Esta ciência toda,
toda esta técnica para chegar à
conclusão deste fenómeno ridículo
que não consigo compreender...

Não há efeito
possível sem causa.
Tenho de descobrir a
razão suficiente desta
coisa ingrata!

DEFASAMENTO DO CÍCLICO



Pangloss, acho que entendi : quando sacudo esta pá de cima para baixo, girando sempre sobre mim mesmo e fazendo com que o período de oscilação que lhe imponho seja o mesmo que o meu período de rotação, devido à combinação da sua inércia e da sua elasticidade, esta acaba por seguir o movimento com um atraso de 90 graus!



Deus do Céu!



Em termos sábios, isto traduz o comportamento de um **SISTEMA DE SEGUNDA ORDEM**



Esta razão suficiente parece-me, devo dizer, acima do meu entendimento.

Já ides compreender, Meu Mestre, graças a este aparelho a que chamamos de **ELASTOTRÃO**.

Não procurem a utilidade prática desse aparelho, que só serve mesmo para explicar o comportamento singular das pás dos helicópteros.

Eu pensava que estávamos na mecânica dos fluidos.

Passo a explicar : se eu desviar a massa **M** da sua posição de equilíbrio, esta irá oscilar com um determinado período a que chamamos **PERÍODO PRÓPRIO DO SISTEMA**.

Se eu solicitar o aparelho sacudindo-o de cima para baixo com o mesmo período **T**, a massa **M** irá responder **DESINCRONIZADA**.

E porquê esse seu interesse pela mecânica dos fluidos?

Aposto que vocês nadam como um prego !

Nadar?

Não lhe passes cartão, amor. Não nos vamos zangar só por causa de um pinguim. A história já é complicada que chegue!

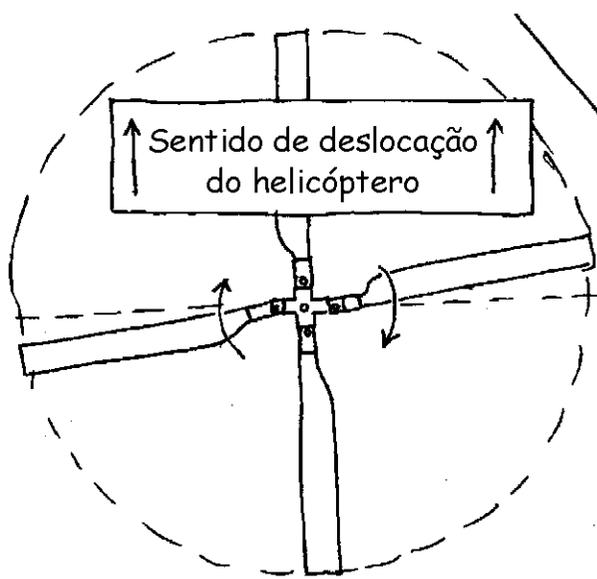
A própria estrutura também responde **DESINCRONIZADA**.

Agarre no Elastotrão pela sua massa e sacuda-o de acordo com o seu período próprio T .

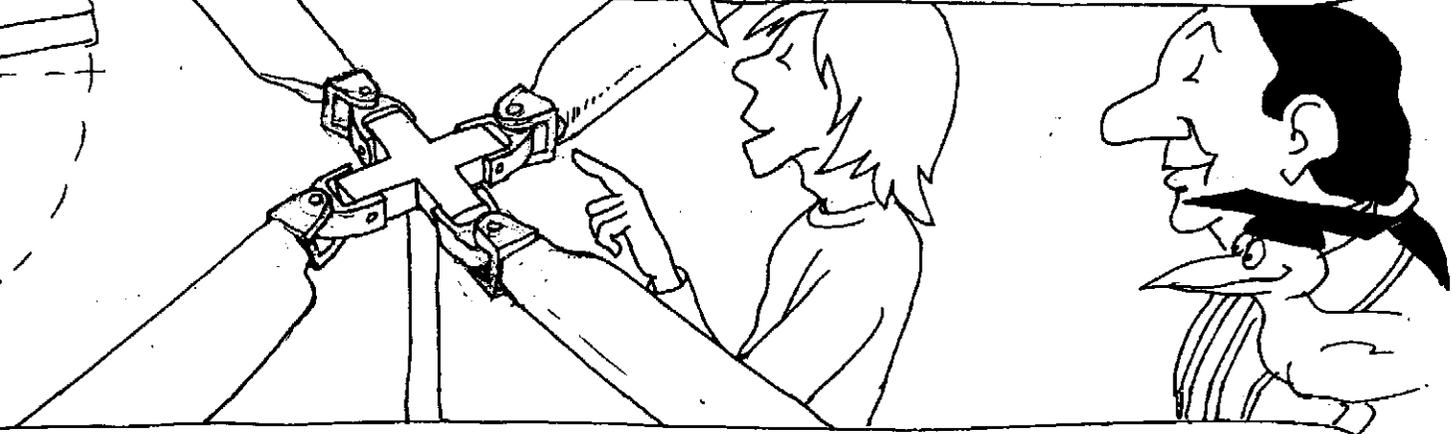
Ora bem, pego nele assim e sacudo-o de acordo com o seu... período próprio.

Aplicando agora essa teoria ao helicóptero: ainda há pouco, eu dava sacudidelas às pás **EM FASE** com o meu movimento de rotação sobre mim mesmo. Durante o voo, são as pás quem "sacodem" a máquina. Daí a necessidade de colocar em cada uma delas uma **ARTICULAÇÃO DE BATIMENTO**.

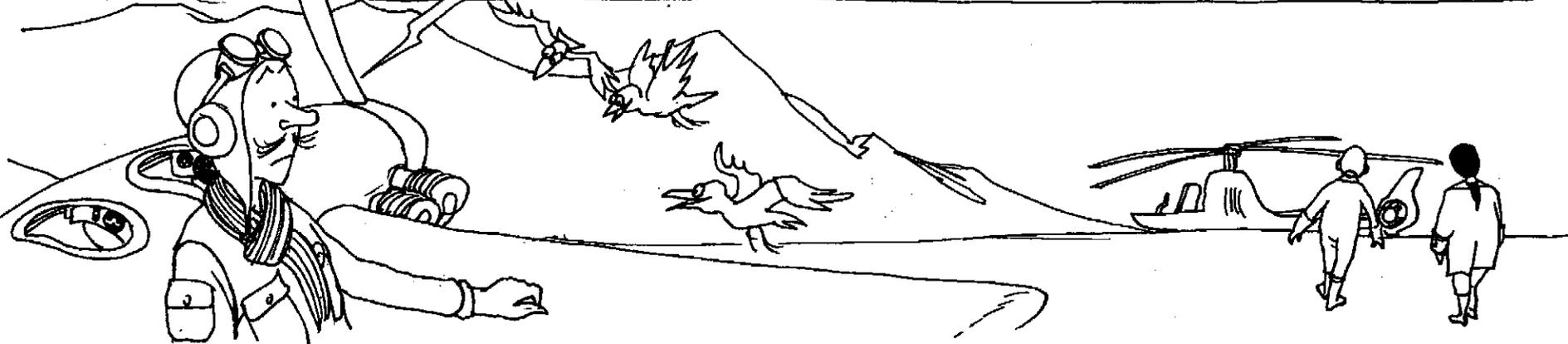
Hmm... estou a perceber.



A segunda articulação é a **ARTICULAÇÃO DA PÁ DO ROTOR EM TORNO DO EIXO VERTICAL** (avanço e recuo) graças à qual as pás conseguem oscilar como se vê aqui. Se essas articulações (ou fixações flexíveis) não existissem, o helicóptero seria alvo de terríveis vibrações, podendo provocar a ruptura do rotor (*).



Estarei com problemas de resposta dos sistemas de segunda ordem ?



(*) Mal deu os primeiros passos nos ensaios com o **AUTOGIRO**, o Espanhol DE LA CIERVA sentiu-se na necessidade de introduzir, o quanto antes, este sistema de "pás articuladas + amortecedores", sob pena de ver o seu rotor partir-se todo.

Intriga-me só de pensar no que é feito do Cândido. Já lá vai um bom pedaço que não tenho notícias dele. Estou a ficar preocupado.

O que andar\'a ele a magicar, queres dizer!

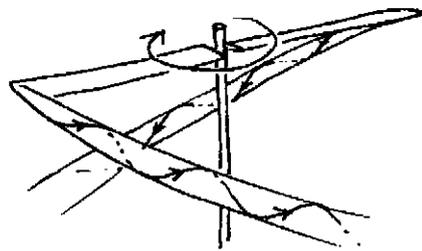
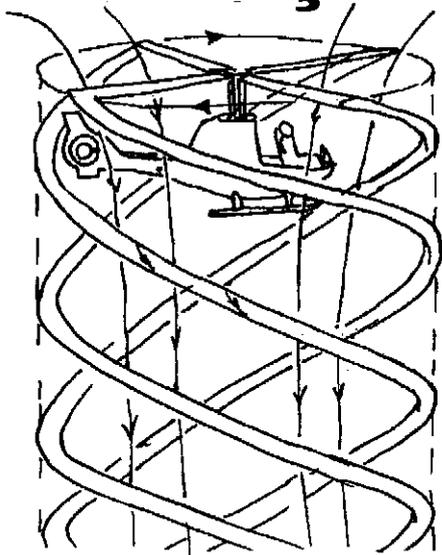
Esse rapaz nunca foi lá muito adepto de ideias subversivas.

Mas cabe-me admitir que é um bom engenheiro.

Mas não me agradam de todo as ideias que ele tem sobre... as viagens interestelares.

De qualquer forma, filha minha jamais casaria com um plebeu fosse ele doutorado em ciências ou não!

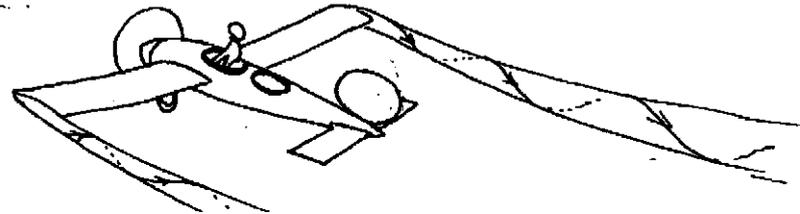
TRANSIÇÃO



As pás do helicóptero são asas de grande longitude que deixam, no seu rasto, **TURBILHÕES MARGINAIS**.



Esta turbulência inútil representa uma perda de energia.



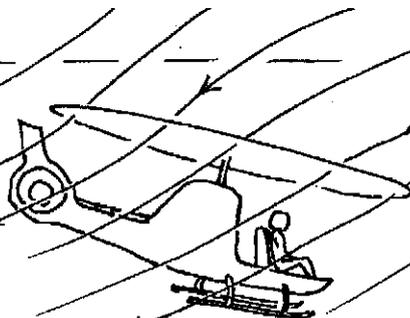
São os turbilhões formados na extremidade das asas que, em grandes altitudes, dão origem a condensações de vapor de água (vulgarmente chamados "rastos de avião").

Quando o helicóptero entra em translação, o aspecto do fluxo vê-se totalmente alterado. Os turbilhões vão ficando menos relevantes e, por esse motivo, a máquina pode sustentar-se à custa de um gasto menor de energia.

A Direcção



Ave em voo estacionário
(forte turbulência)

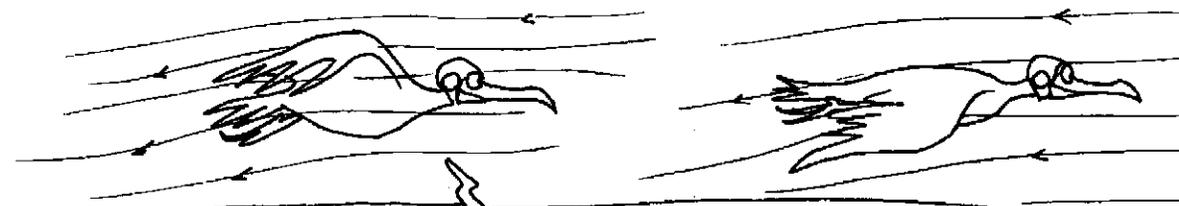


Ave em translação

Confesso que não percebo patavina
dessa coisa da **TRANSIÇÃO** !

Até é simples, ao fim
ao cabo. Olha só como é que
tens de descolar.

Para te manteres
estacionário, gastas energia
criando turbulência.



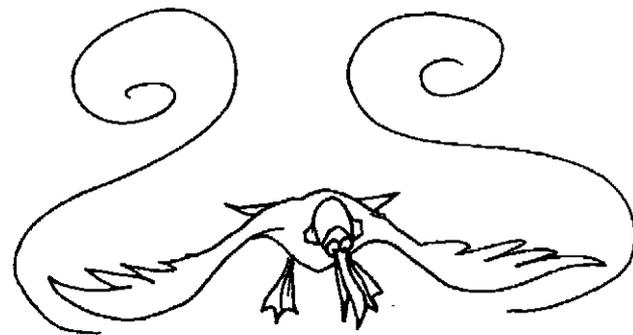
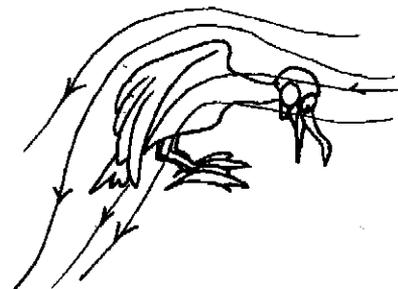
Em translação, o ar flui com menos turbulência entre as penas.
Tens de enxotar sempre ar para baixo, mas gastando menos energia.

E na transição inversa?

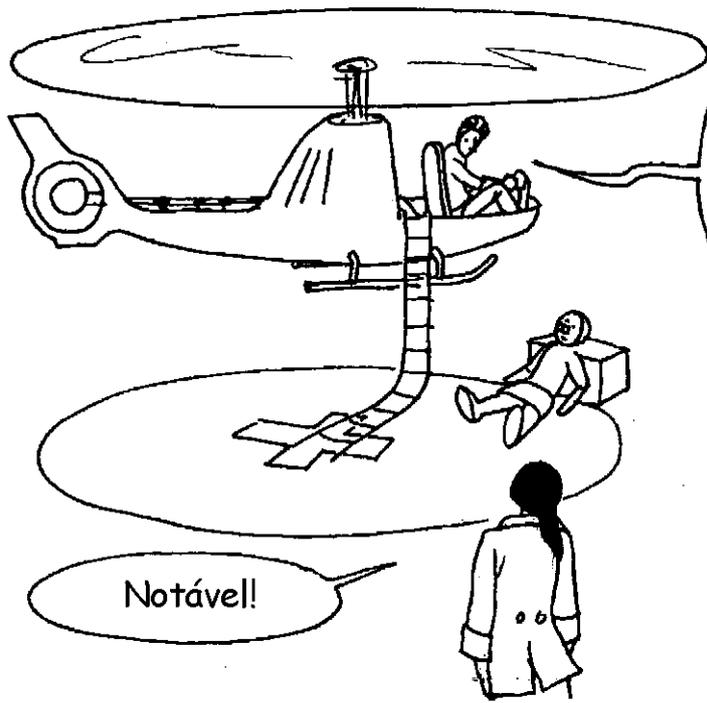
Não é nada de mais. Concentras-te em algo interessante que esteja lá em baixo, num peixe por exemplo...



Inclinas-te para anular a velocidade e ficas imóvel no ar.



Depois, voltas ao regime de voo estacionário, criando uma forte turbulência, isto é, consumindo mais energia.



Pangloss, agora sim, estou mais do que pronto. Esta máquina é incrivelmente estável e confere uma boa manobra. Assim que a Cunegundes tiver subido, serei o mais breve possível antes que os arqueiros do barão nos deem a mão!

Notável!

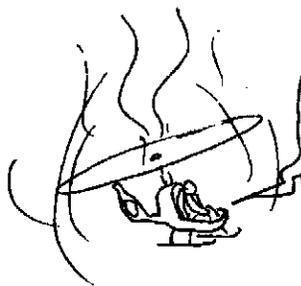
Bastar-me-á aproximar-me, a uma boa altura. As pessoas não costumam olhar para o ar. Depois, voltarei a descer com direcção ao terraço, com o prego a fundo.





Credo, que coisa
mais instável!

Ainda por
cima, vibra!



Tenho a sensação de que o meu helicóptero
se apoia numa espécie de massa sem forma,
completamente instável. Tenho de me pirar
daqui o quanto antes. Definitivamente, a
descida vertical rápida é um péssimo negócio!

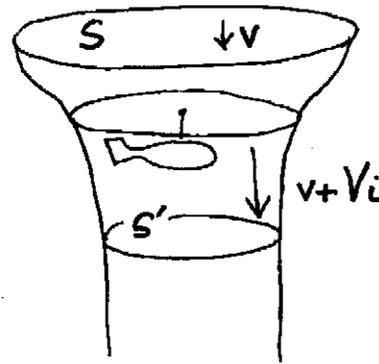
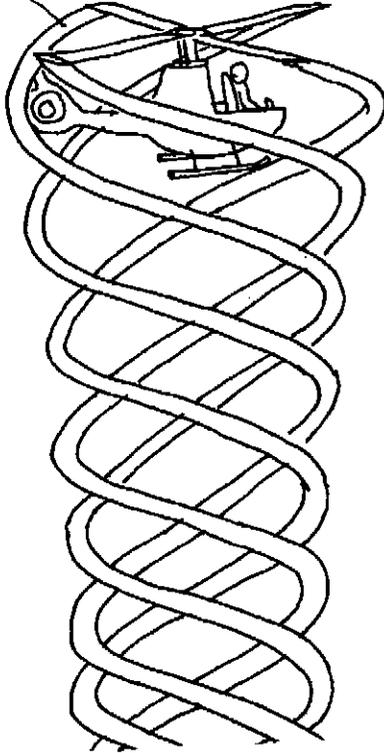


Falhei o alvo, Pangloss. Aproximar-me
completamente na vertical não vai com nada...

VELOCIDADE INDUZIDA

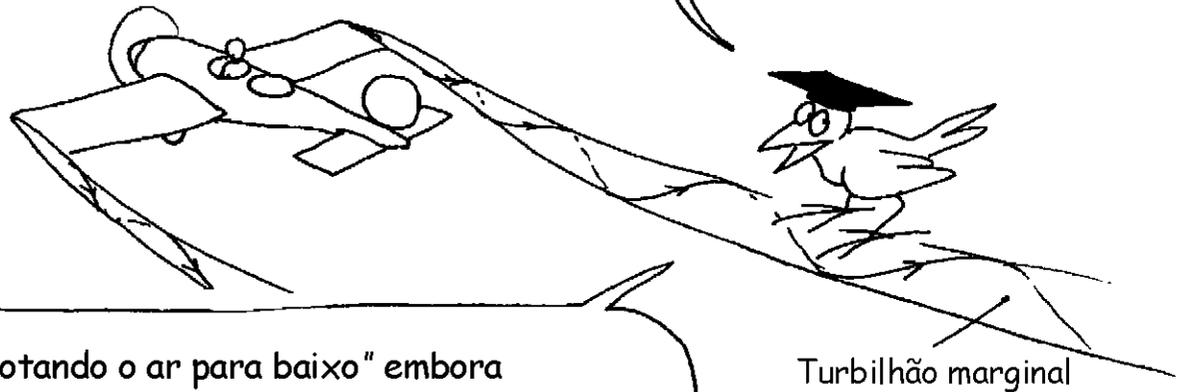
Turbilhões na
extremidade
das pás

6m/s



$$\rho v S = \rho (v+V_i) S' (*)$$

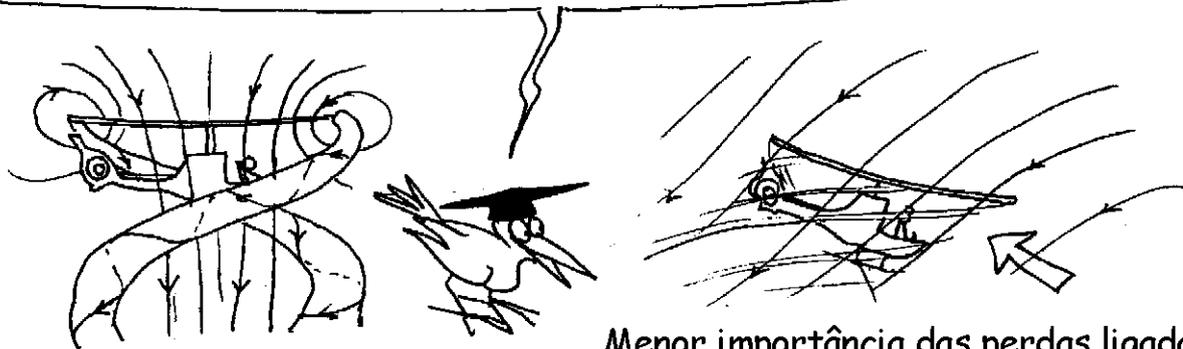
O facto de um helicóptero se sustentar "enxotando o ar para baixo" implica comunicar-lhe uma **VELOCIDADE INDUZIDA** V_i na ordem de 6 metros por segundo. Ao emitir fumo pelas extremidades das pás, daria para ver este fenómeno a materializar-se.



O avião também voa "enxotando o ar para baixo" embora este efeito de velocidade induzida seja menos aparente.

(*) Esta relação representa a conservação do fluxo de ar de massa volumétrica ρ constante, o que implica que a secção S' seja mais pequena do que a secção S .

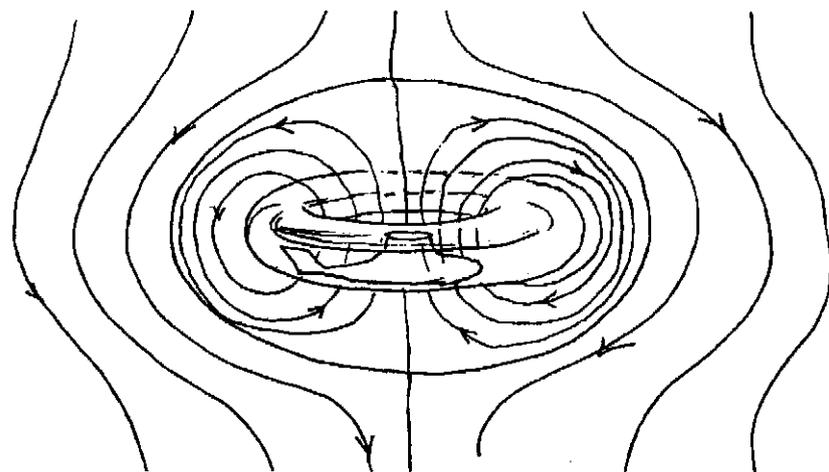
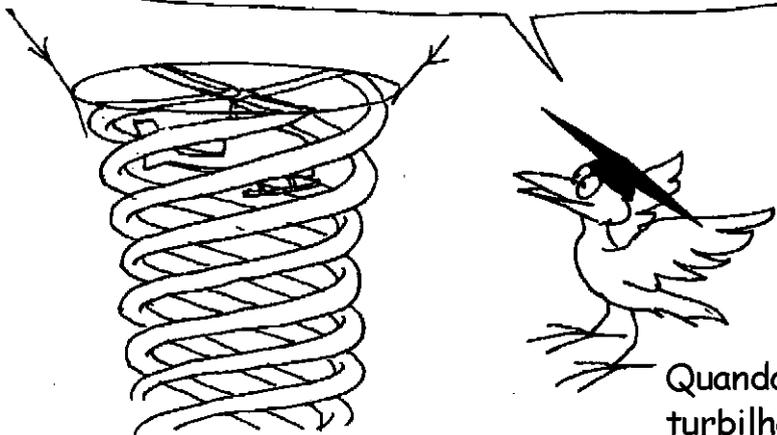
Tudo aquilo que **PRODUZ TURBILHÕES** representa uma perda de energia. O voo em translação contraria o estabelecimento do regime produtor de turbilhões. Esta forma de manter a altitude requer portanto menos consumo de energia.



Menor importância das perdas ligadas aos turbilhões na extremidade das pás.

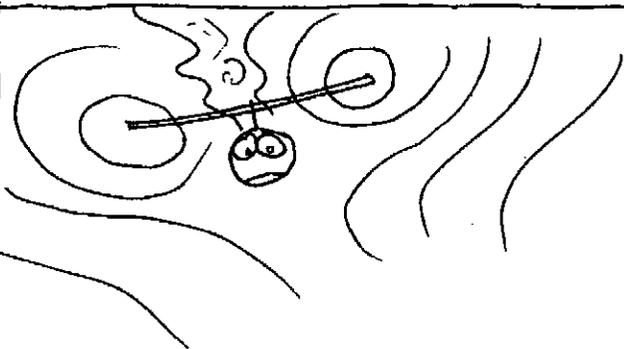


Quando o helicóptero inicia uma descida vertical, os turbilhões marginais interagem no momento em que a velocidade vertical atinge $\frac{1}{4} V_i$.

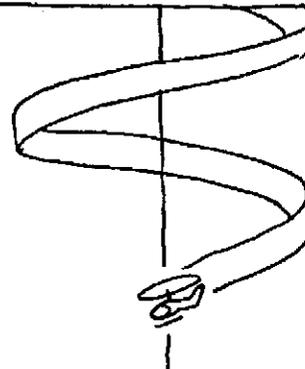


Quando a velocidade de descida atinge $\frac{3}{4}$ da velocidade induzida V_i , os turbilhões misturam-se dando origem a um grande **VÓRTICE** de forma tórica.

Cada pá leva, com atraso, com o turbilhão marginal criado pela pá antecedente e amplifica-o. As perdas aumentam. Como se não bastasse, esta geometria é muito instável.



Da mesma forma, para descer para uma pista de aterragem, os pilotos preferem optar por uma aproximação em espiral, conservando um regime de translação.



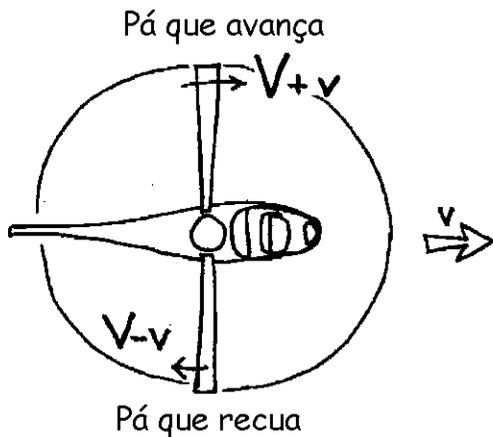
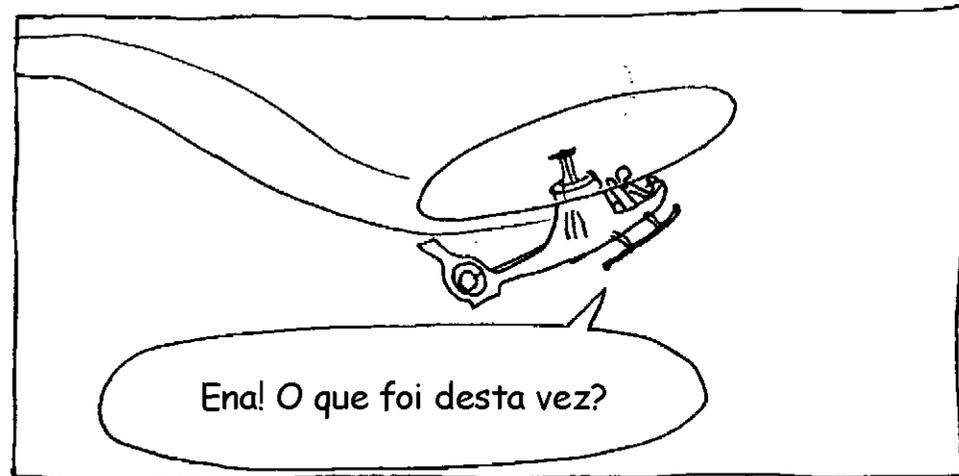
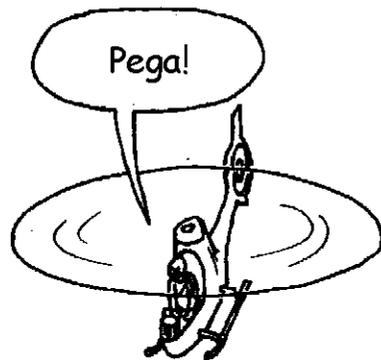
Moral da história : aproximar-me-ei do cimo da torre em voo horizontal ; Reduzirei a minha velocidade à última da hora, passando para um estado de voo estacionário e efectuando uma última descida a uma velocidade moderada, de um metro por segundo, vamos dizer.



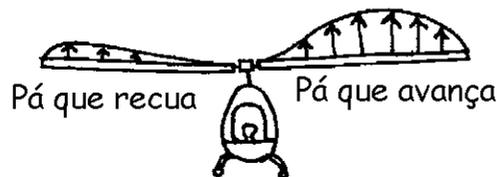
Para evitar esta perigosa passagem para o **REGIME TURBULENTO**.

Voltemos agora aos nossos ensaios de voo.

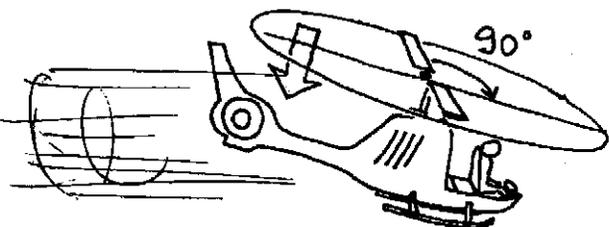
ESTOL COM PÁ A RECUAR



Sendo que V é a velocidade da pá na sua periferia, e v a velocidade de voo do helicóptero, o **VENTO RELATIVO** ao qual é submetida a **PÁ QUE AVANÇA** corresponde a $V+v$; aquele ao qual é submetida a **PÁ QUE RECUA** corresponde a $V-v$. Por isso, as forças de pressão exercidas sobre as duas pás são bastante diferentes.

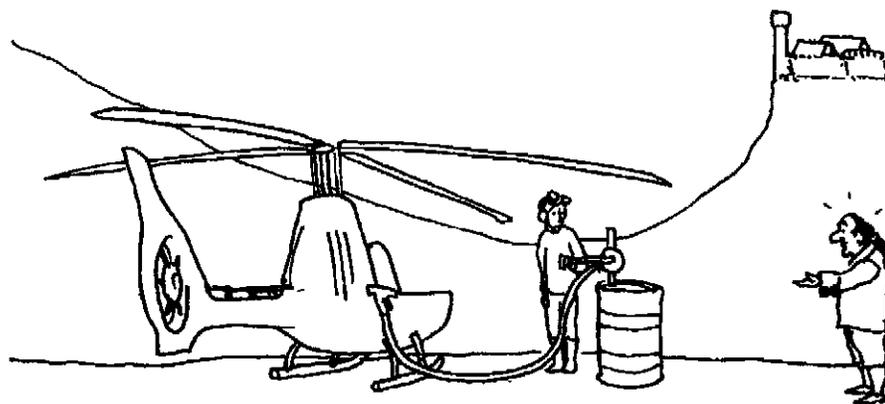


A tentação é grande de pensar que, a uma grande velocidade, o helicóptero deva ter tendência em andar aos baloiços, de lado. Porém, devido ao atraso de 90° na "resposta" do aparelho, a tendência é fazê-lo empinar.



O sentido da rotação dos rotores difere consoante os países. Desta forma, no caso dos helicópteros franceses, a pá que avança fica à esquerda, ao passo que nas máquinas norte-americanas fica à direita. Mas isso em nada muda tudo o que foi dito até agora.

A Direcção



Cândido, estava aqui a pensar numa coisa... O barão não faz a mínima ideia dos seus projectos. Aliás, a própria menina Cunegundes também não. O que o leva a crer que ela estará no terraço da torre quando lá aparecer?

Tendes razão,
Mestre Pangloss.
Como havemos de
fazer?

Fiquei de ir jantar ao castelo.
Lá arranjarei uma forma
de a avisar.

O mestre
Pangloss já
tinha a escola
toda...

Ah, Mestre Pangloss, o que acha se nos
contasse uma bela história, cheia de filosofia
para que a nossa filha, que anda sempre com
a cabeça na lua, aprendesse alguma lição?

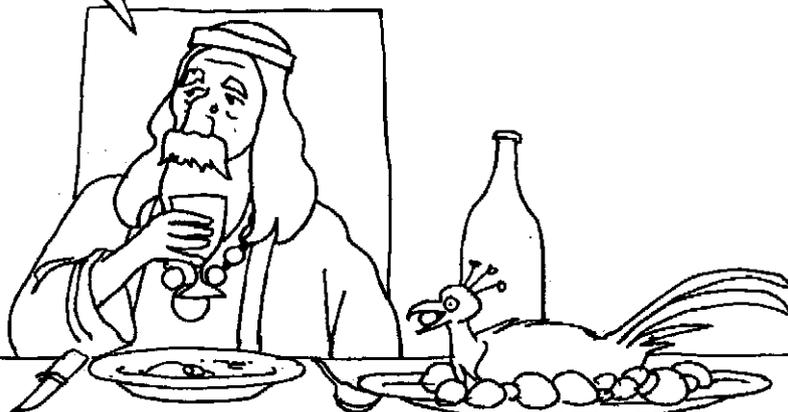
Isso, Mestre, que nós
muito gostamos dos seus
contos filosóficos!

Era uma vez...

... fora então que o príncipe, aquando das doze badaladas de meio-dia em Beffroy, subira para cima do seu tapete voador para vir libertar a sua amada princesa, que o esperava lá no cimo da mais alta torre do castelo.

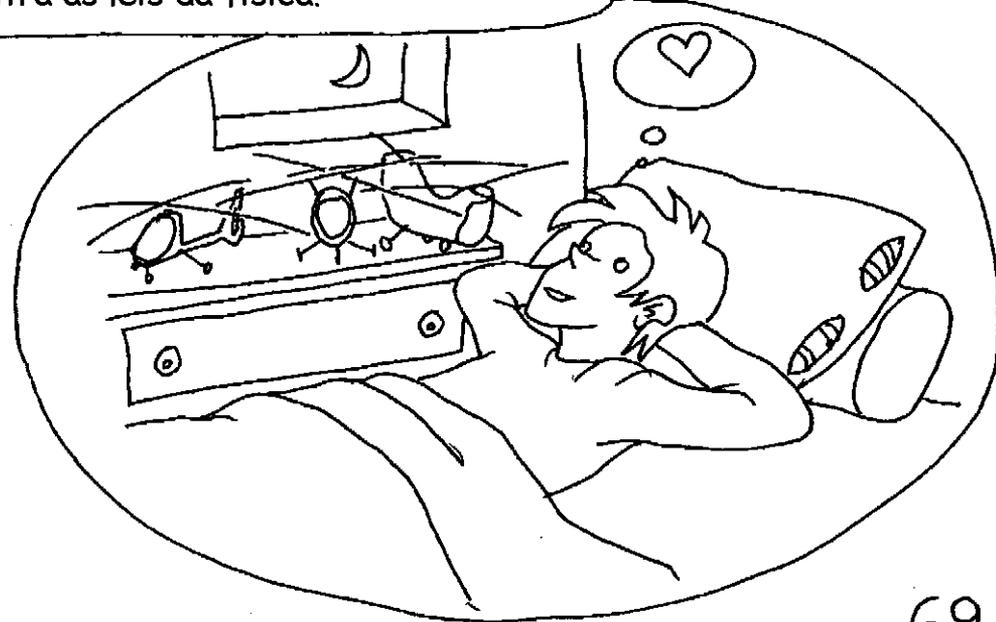
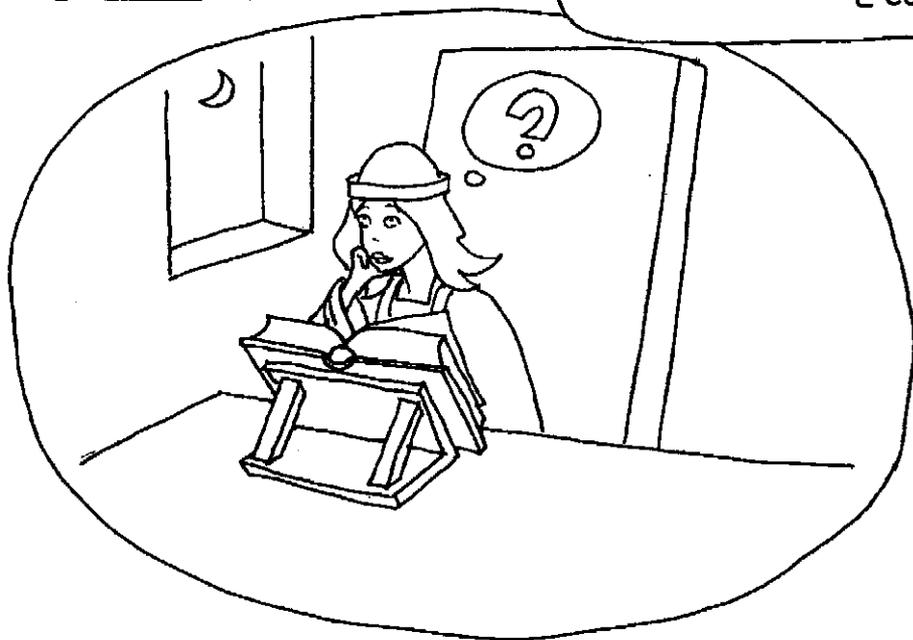


Foi uma história muito bonita, meu caro Pangloss embora não tenha conseguido entender... hum... todas as suas implicações filosóficas.





Príncipes que chegam em tapetes voadores!
É contra as leis da física!

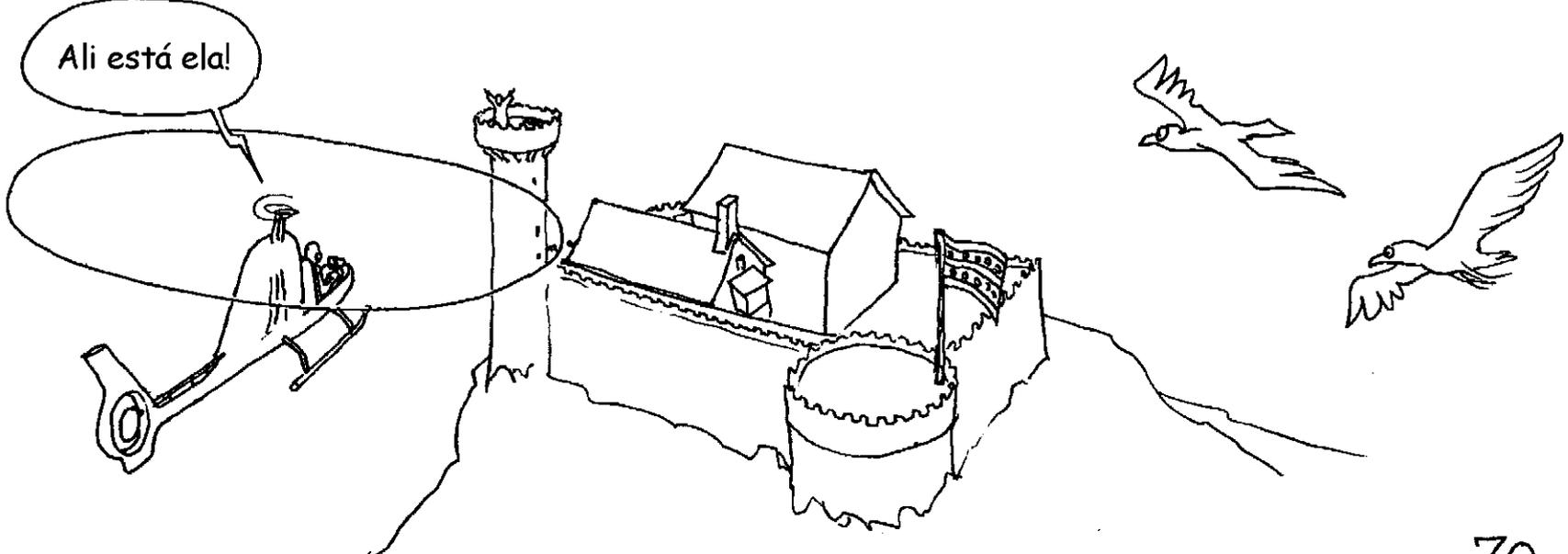




Descolagem dentro
de cinco minutos.
Já pode ir aquecendo
o motor.



O Pangloss disse ao meio-dia.
O relógio já está a dar horas.
Tenho de subir até ao terraço.

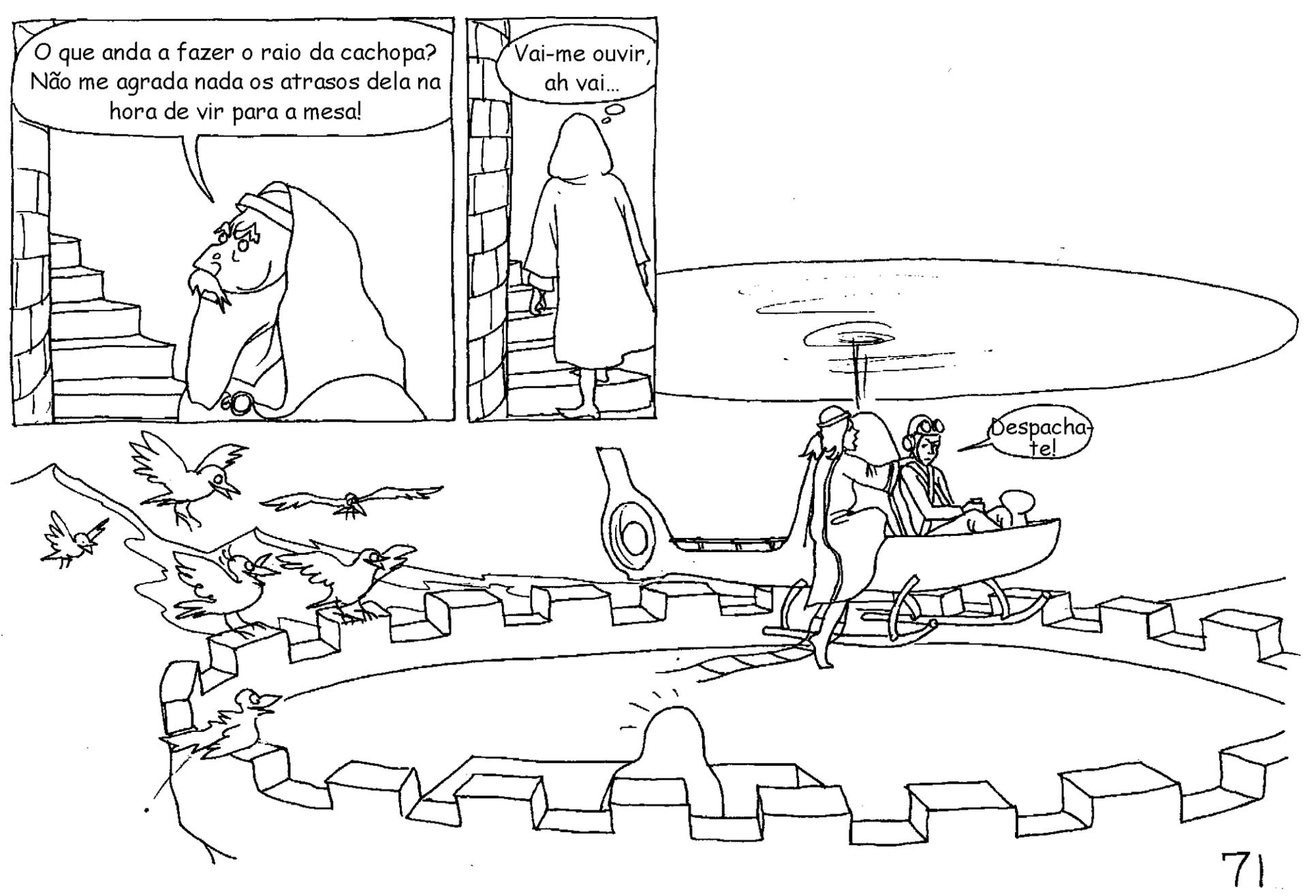


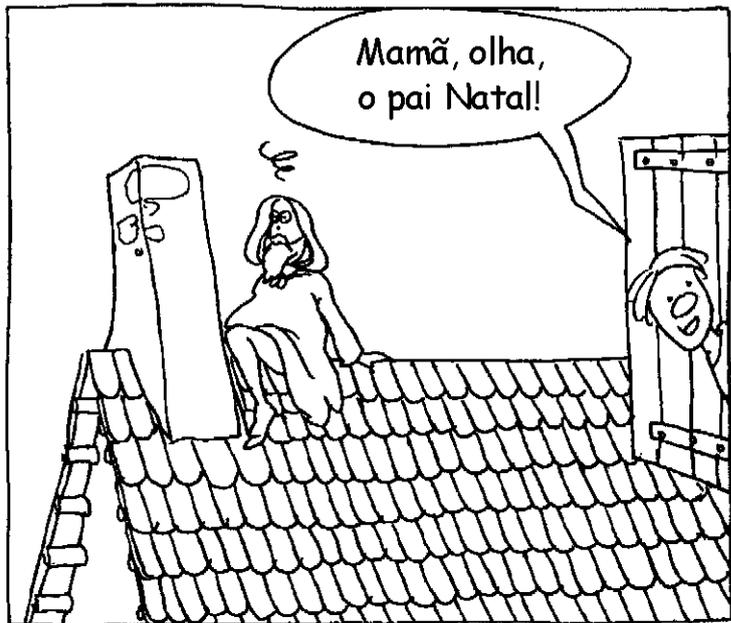
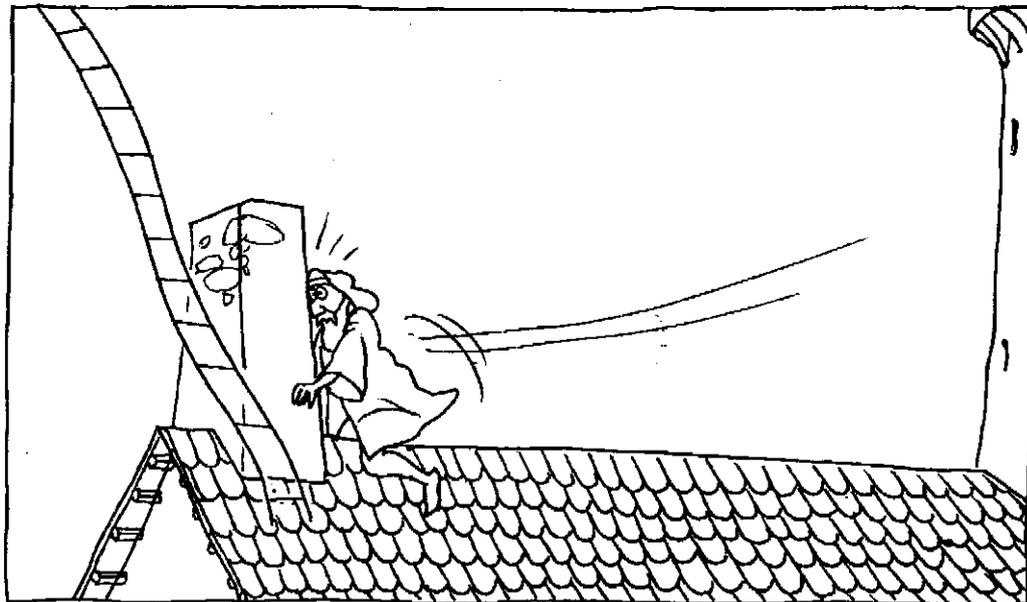
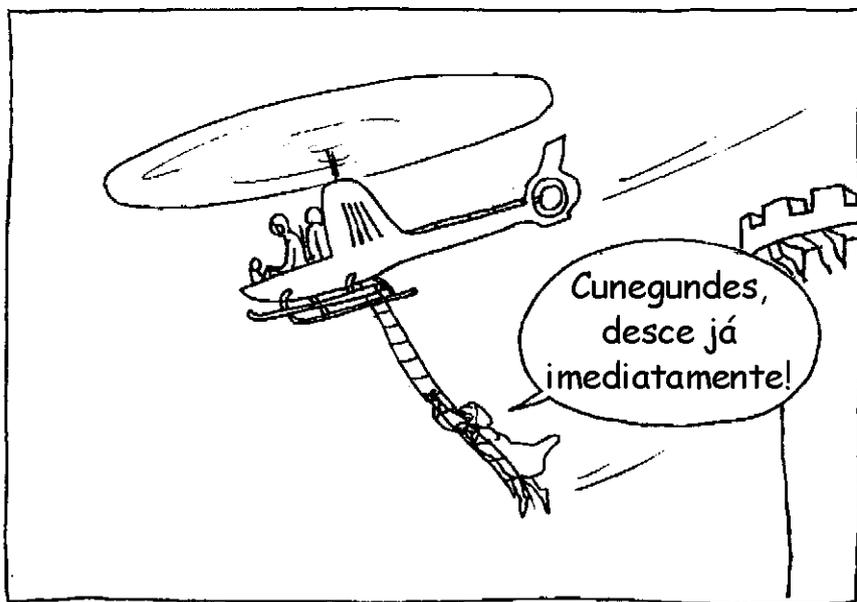
Ali está ela!

O que anda a fazer o raio da cachopa?
Não me agrada nada os atrasos dela na
hora de vir para a mesa!

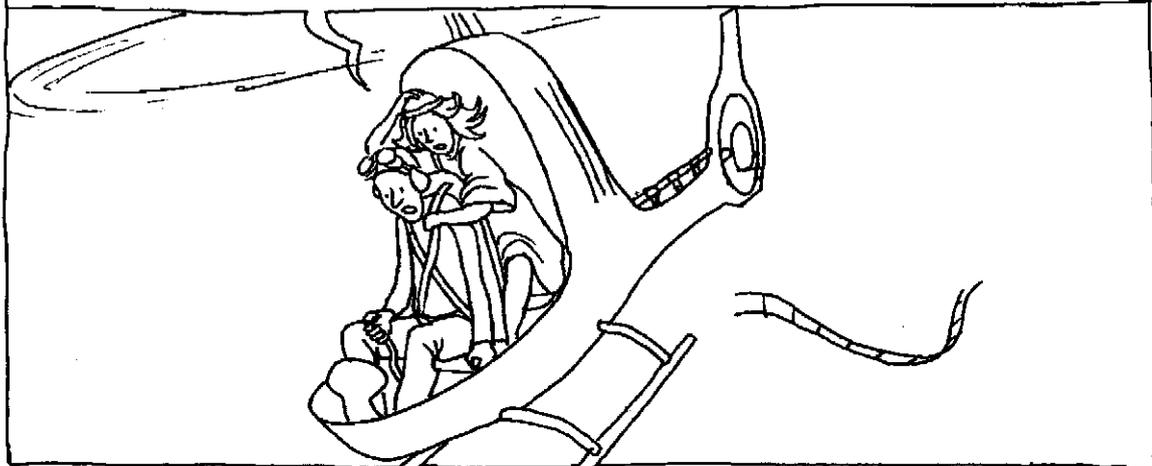
Vai-me ouvir,
ah vai...

Despacha-
te!





Que caneco ! Um problema com o motor.
Não posso, de jeito nenhum, deixar de conservar o meu regime
de rotor, as minhas rotações e a minha velocidade!





Pronto! O ar está agora em fluxo inverso, passa de baixo para cima. Passámos para o regime de auto-rotação. O meu helicóptero transformou-se num autogiro. A porção motriz, auto-rotativa do rotor arrasta o resto.

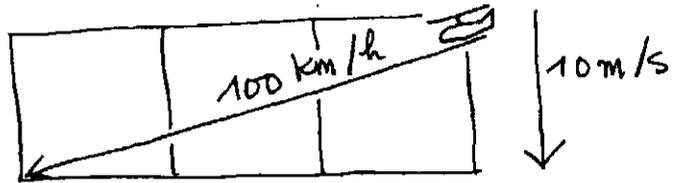
Afinal, sempre conseguem planar os helicópteros?

Vá se lá saber...

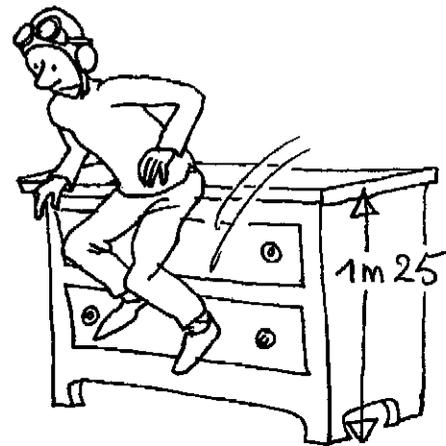
Ainda assim, até estamos a descer a velocidade incrível: uns 10 metros por segundo. Não é como um calhau, mas também não anda lá muito longe.

Em regime de auto-rotação, um helicóptero vai a uma velocidade de 100 km/hora, o que corresponde a uma **FINEZA** de 3. Em auto-rotação vertical, a velocidade de queda atingiria uns 20 metros por segundo e, no impacto, uma velocidade destas mataria os passageiros. Para fixar as ideias, o Homem pode encaixar um impacto de 5 m/s, o que equivale a saltar de um armário (*). Um impacto a 10 m/s corresponde a um salto a 5 metros de altura.

Q Direcção



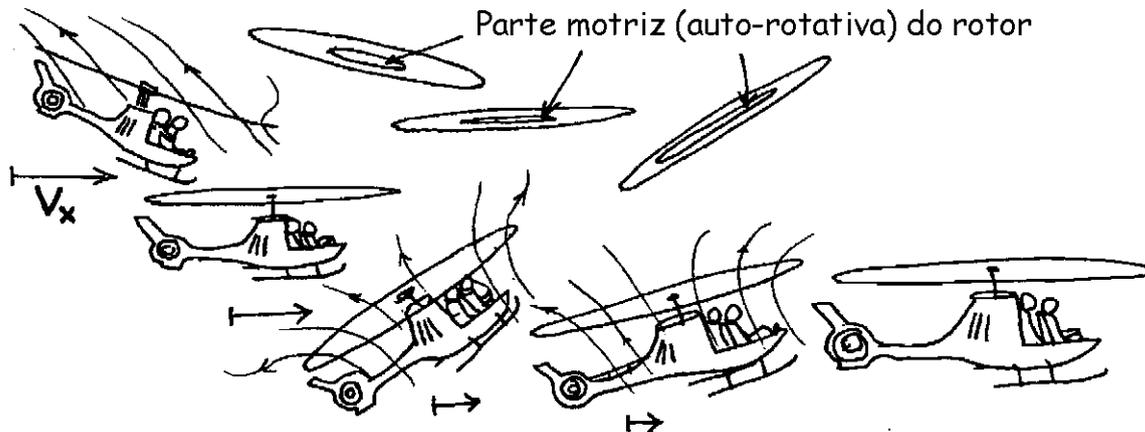
Impacto a 5 m/s



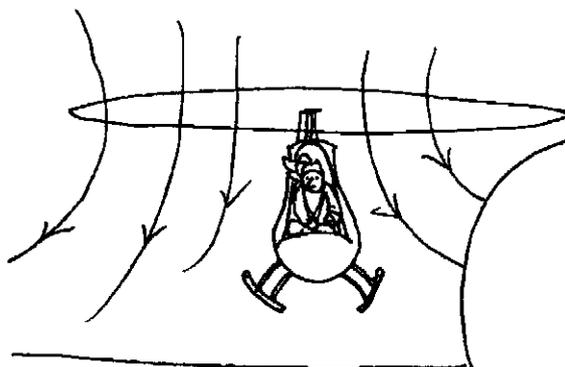
$$(*) V_{(m/s)} = \sqrt{2gz} = \sqrt{20z} \text{ (metros)}$$

ARREDONDAR A TRAJECTÓRIA

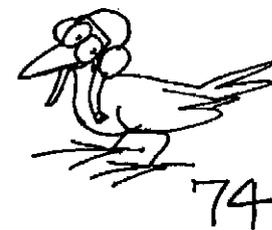
Vou ter de improvisar qualquer coisa...



A dez metros de altitude, Cândido puxa seriamente pela alavanca mantendo o passo colectivo ao mínimo. A máquina levanta a parte da frente e as pás são atacadas por uma incidência de vento relativo maior, o que aumenta a parte "motriz" do rotor, auto-rotativa. Assim, a energia cinética de translação $\frac{1}{2} M V_x^2$ é convertida em energia de rotação. De seguida, volta a empurrar a alavanca de direcção.



Puxa então pela alavanca de passo colectivo. O fluxo de ar inverte-se. O rotor passa assim do regime "autogiro" para o regime "helicóptero". Tira proveito do efeito de solo, utilizando a energia armazenada pelo rotor (*).



74

(*) Esta manobra implica um elevado consumo de adrenalina.

Senhor...

Sua Majestade ficou bastante fascinada pela sua notável demonstração a bordo do seu gavião voador!

Do meu quê?

Ah, agora apanhei-te, seu corrupto!
Passarás o resto dos teus dias na minha solitária!

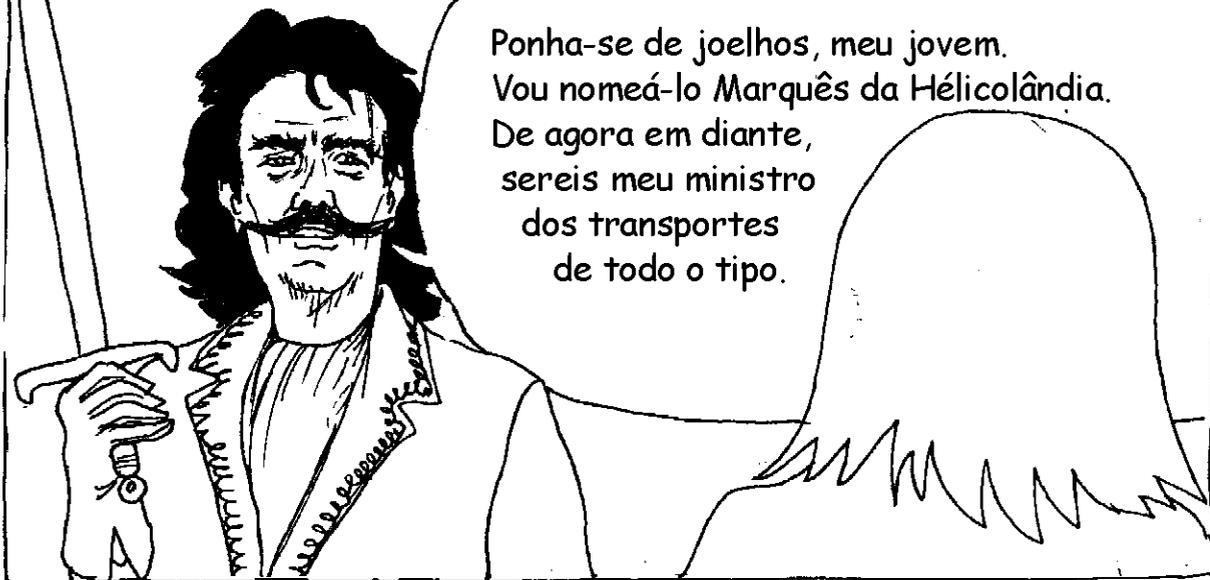
Sua Alteza, não o haveis reconhecido?
Este moço quer casar com a minha filha,
mas não tem os títulos de nobreza necessários sequer, quanto mais sonhar com isso!

Mas que peixeirada vem a ser esta?

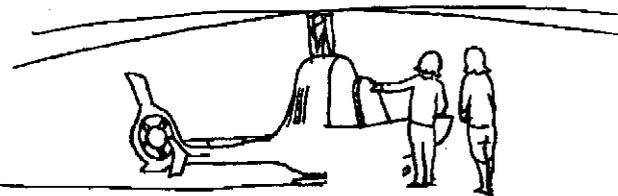
Mas que barão mais enfadonho!
Por uma vez que surge algo de
engraçado, quer mandar prender o
inventor. Vamos dar um jeito a isso.
Plissonneau, dê-me cá a sua espada,
tenha a bondade.



Ponha-se de joelhos, meu jovem.
Vou nomeá-lo Marquês da Hélicolândia.
De agora em diante,
sereis meu ministro
dos transportes
de todo o tipo.



E marquês sempre é bem melhor do que barão.
É desta vez, pai, que nos vais deixar em paz?!



FIM

Vê, meu caro Cândido, que tudo aponta para o melhor no melhor dos mundos possíveis?
Pois, se não tivesse sido corrido com pontapés no traseiro pelo Senhor Barão,
não teria inventado o helicóptero!

