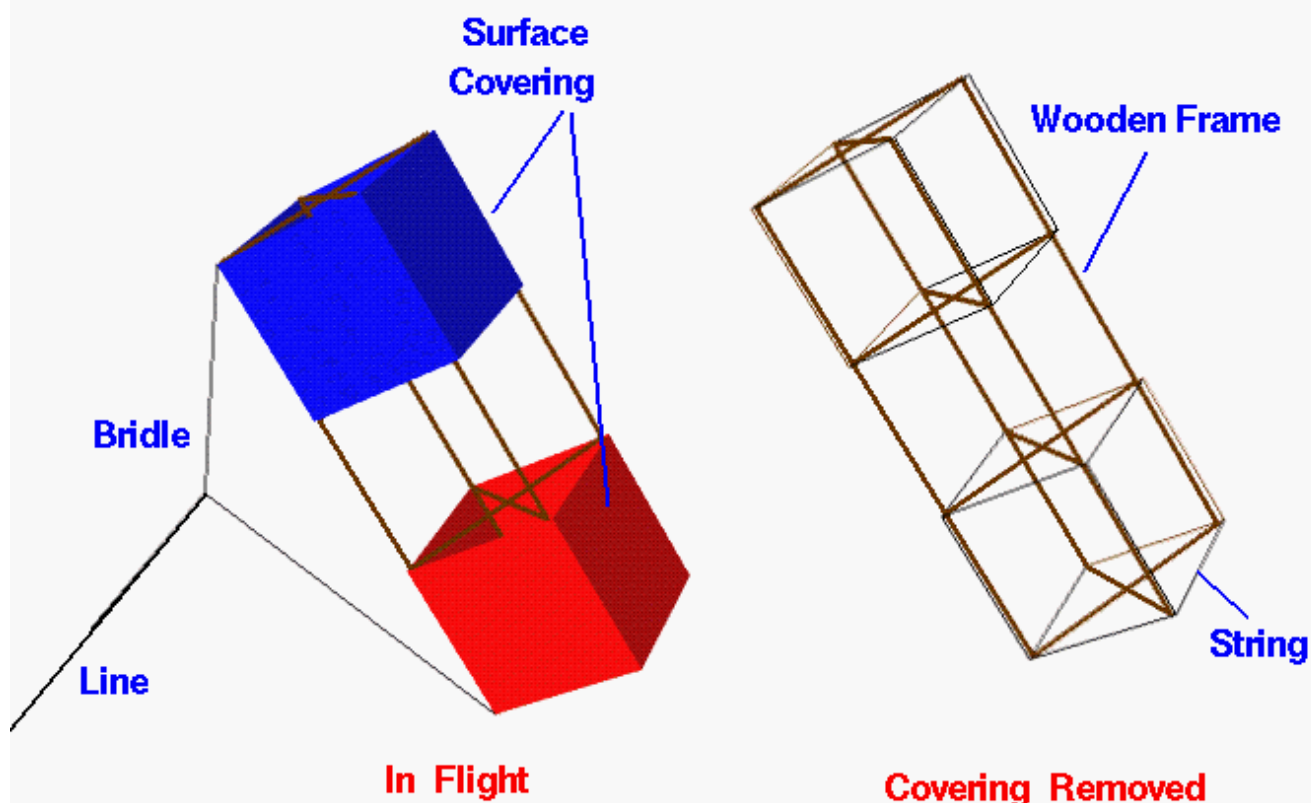




# Kite Construction

## Box Kite

Glenn  
Research  
Center



### Resumo Didático: Forças Aerodinâmicas em Pipas

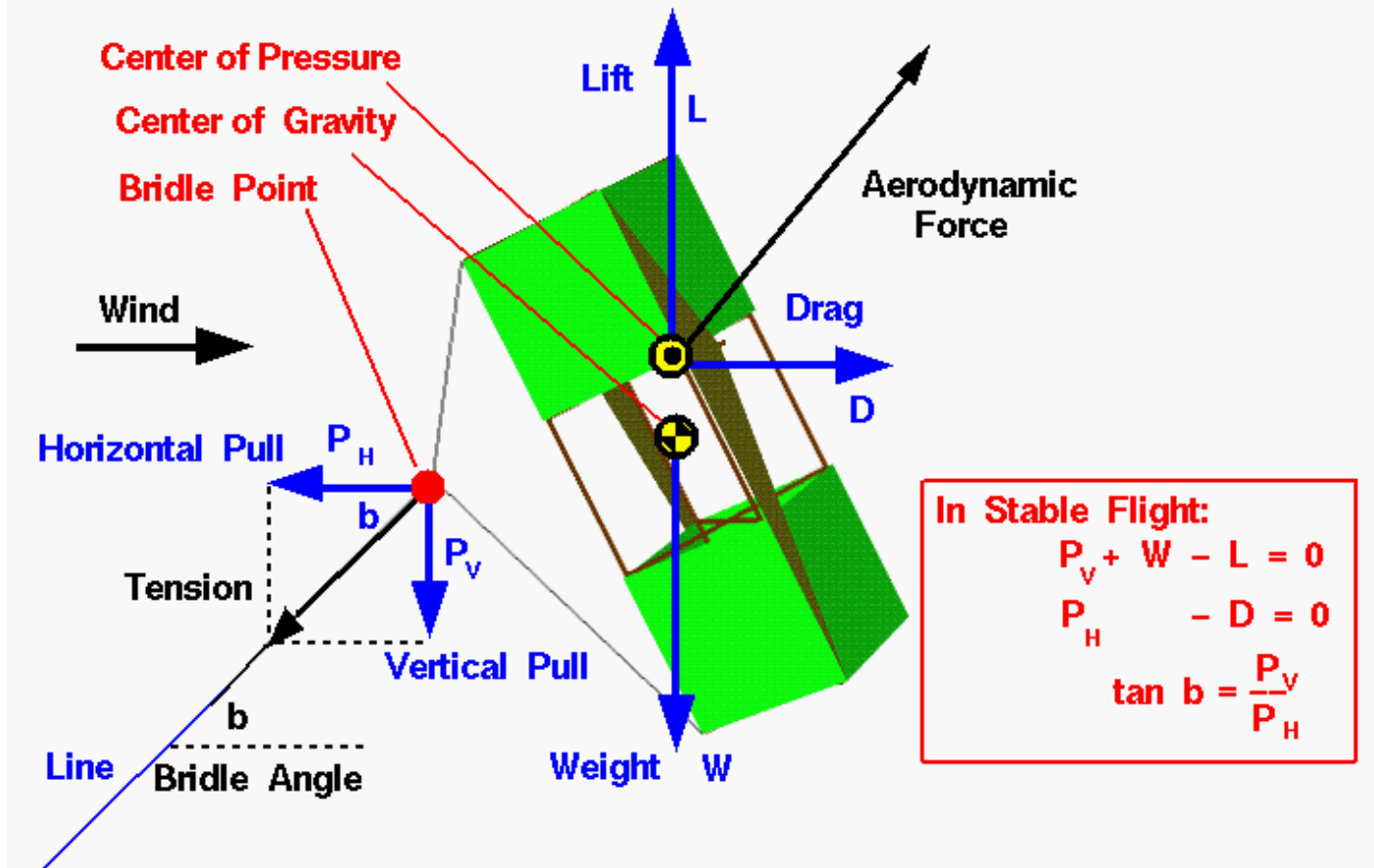
#### 1. Por que uma pipa voa?

Uma pipa voa devido às **forças que atuam sobre suas partes**:

- **Peso ( $W$ )**: força para baixo, devido à gravidade.
- **Sustentação ( $L$ )**: força perpendicular ao vento, que levanta a pipa.
- **Arrasto ( $D$ )**: força na direção do vento, que resiste ao movimento.
- **Tensão na linha ( $T$ )**: força transmitida pelo arreio da pipa; substitui a propulsão de um avião.

A pipa é semelhante a um avião, então usamos **as mesmas equações aerodinâmicas**.

---



## 2. Equações Aerodinâmicas

### 1. Sustentação (Lift)

$$L = C_l \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$$

### 2. Arrasto (Drag)

$$D = C_d \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$$

### Onde:

- $C_l$  = coeficiente de sustentação (depende da forma da pipa e do ângulo com o vento)
- $C_d$  = coeficiente de arrasto
- $A$  = área projetada da pipa ( $m^2$ )
- $\rho$  = densidade do ar ( $kg/m^3$ ; ao nível do mar  $\rho = 1,229$ )
- $V$  = velocidade do vento relativo à pipa ( $m/s$ )

Obs.: O arrasto e a sustentação aumentam com o quadrado da velocidade do vento.

### 3. Torque e Equilíbrio

A pipa gira em torno do **ponto do arreio**. Existem dois torques principais:

- Torque devido ao **peso**:

$$T_W = W \cdot g$$

- Torque devido à **força aerodinâmica**:

$$T_F = F \cdot p$$

**Equilíbrio (voo trimado):**

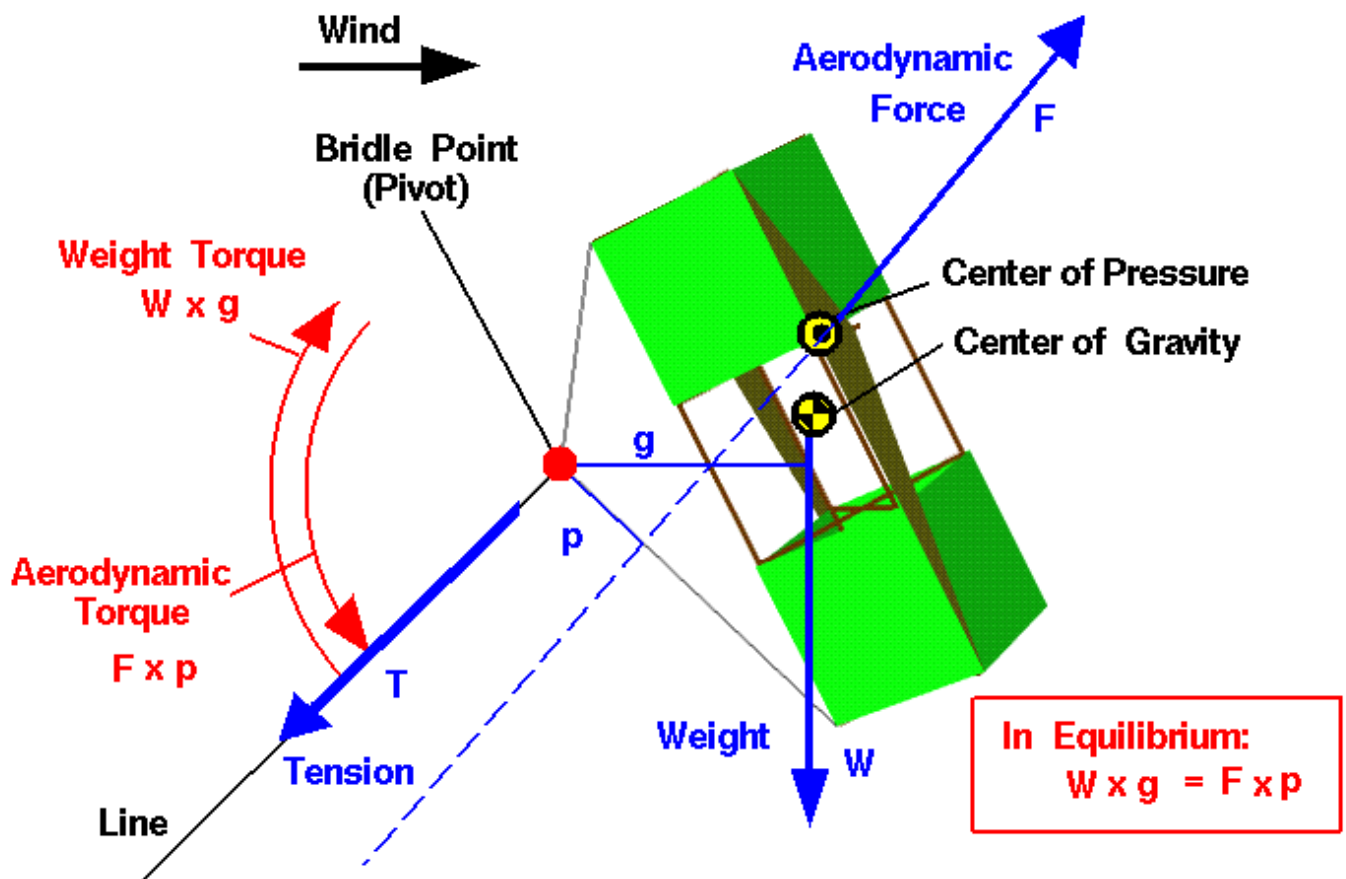
$$T_W = T_F \Rightarrow W \cdot g = F \cdot p$$

$g$  e  $p$  são as distâncias perpendiculares do ponto do arreio ao centro de gravidade e ao centro de pressão, respectivamente.



## ***Torques on a Kite*** ***Principles***

Glenn  
Research  
Center



### 4. Exemplo Prático de Cálculo

Dados da pipa:

- Área:  $A = 0,5 \text{ m}^2$

- Densidade do ar:  $\rho = 1,229 \text{ kg/m}^3$
- Velocidade do vento:  $V = 5 \text{ m/s}$
- Coeficiente de sustentação:  $C_l = 1,0$
- Coeficiente de arrasto:  $C_d = 0,2$

### Passo 1: Calcular sustentação

$$L = C_l \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$$

$$L = 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,229 \cdot \frac{5^2}{2}$$

$$L = 0,6145 \cdot \frac{25}{2}$$

$$L = 0,6145 \cdot 12,5$$

$$L \approx 7,68 \text{ N}$$

### Passo 2: Calcular arrasto

$$D = C_d \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$$

$$D = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 1,229 \cdot \frac{25}{2}$$

$$D = 0,1229 \cdot 12,5$$

$$D \approx 1,54 \text{ N}$$

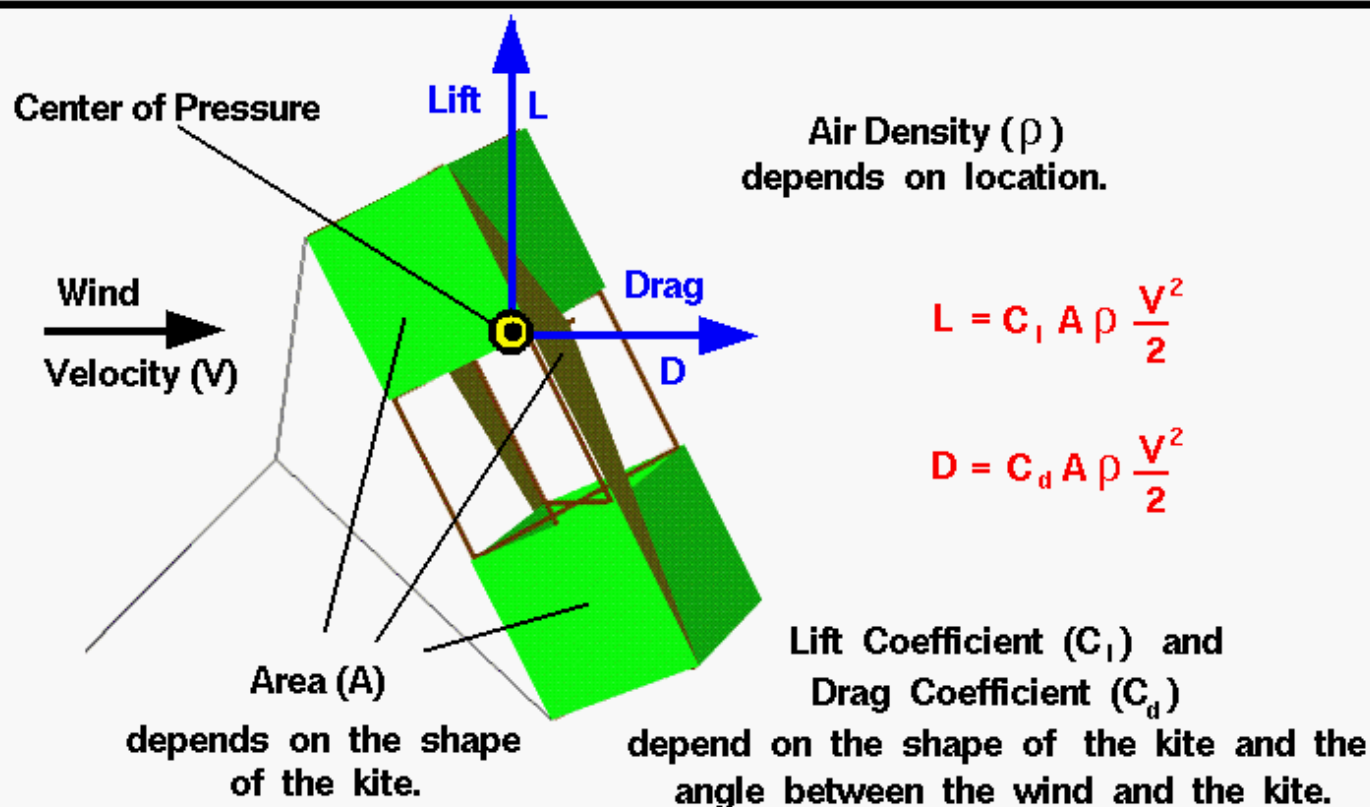
### Passo 3: Comparar com o peso da pipa

- Supondo que o peso  $W = 6 \text{ N}$
- Como  $L > W$ , a pipa sobe.
- Se  $L < W$ , a pipa desce.



# Aerodynamics of Kites

Glenn  
Research  
Center



## 5. Resumo Visual

- **Vento** → paralelo ao solo
- **Sustentação (L)** → perpendicular ao vento
- **Arrasto (D)** → na direção do vento
- **Tensão na linha (T)** → ajusta o voo, mantendo a pipa em equilíbrio

## 6. Como Ajustar o Voo

- **Movendo o ponto do arreio:** altera o torque e o ângulo de voo
- **Mudando a área ou materiais:** altera  $L$  e  $D$
- **Aumentando o vento:** aumenta  $L$  e  $D$  proporcional ao  $V^2$

Vamos calcular ou **estimar o peso da sua pipa caixa em Newtons (N)** de forma prática. Vou te mostrar passo a passo.

## 1. Peso é força

O peso  $W$  de um objeto é a **força que a gravidade exerce sobre ele**:

$$W = m \cdot g$$

Onde:

- $W$  = peso da pipa (N)
  - $m$  = massa da pipa (kg)
  - $g$  = aceleração da gravidade ( $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$ )
- 

## 2. Determinar a massa da pipa

A pipa caixa é feita de:

- **Varetas (bambu, madeira ou plástico)**
- **Cobertura (papel, plástico ou tecido leve)**
- **Cordas e arreio**

### a) Estimar massa das varetas

Se você usar bambu ou madeira leve:

- Comprimento da vareta: 0,8 m
- Quantidade: 4 pernas + 4 cruces (mas algumas pipas usam só 2 cruces)
- Massa aproximada: 5–15 g por vareta (dependendo do material)

**Exemplo:**

- 4 pernas  $\times$  10 g = 40 g
- 4 cruces  $\times$  10 g = 40 g
- Total varetas = 80 g

### b) Estimar massa da cobertura

- Área da pipa: 0,5 m<sup>2</sup>
- Material: papel ou plástico fino
- Densidade aproximada: 40–100 g/m<sup>2</sup>
- Para 0,5 m<sup>2</sup>:  $0,5 \times 50 \text{ g/m}^2 = 25 \text{ g}$

### c) Cordas e arreio

- Cordas finas: cerca de 5–10 g
- 

## 3. Calcular a massa total

$$m_{\text{total}} = 80 + 25 + 10 \approx 115 \text{ g} = 0,115 \text{ kg}$$

---

#### 4. Calcular o peso

$$W = m \cdot g = 0,115 \cdot 9,81$$

$$W \approx 1,13 \text{ N}$$

---

#### Resumo

- Uma pipa caixa leve típica pesa **1–2 N**.
- Se usar varetas mais grossas ou cobertura mais pesada, o peso aumenta.
- Quanto menor o peso, mais fácil a pipa voa.

#### Tabela de Cálculo de Peso da Pipa Caixa

Componente	Quantidade	Massa unitária (g)	Massa total (g)	Observações
Varetas “perna”				Ex.: 4 pernas × 0,8 m
Varetas “cruz”				Ex.: 2 ou 4 cruzes × 0,8 m
Cobertura				Área × densidade do material
Cordas/arreio				Ex.: 5–10 g
<b>Massa total</b>				Soma de todos os componentes

#### Passo a passo do cálculo:

1. Preencha **quantidade** e **massa unitária** para cada componente.
2. Multiplique a quantidade pela massa unitária → obtém a **massa total de cada componente**.
3. Some todos os valores → **massa total da pipa (m)** em gramas.
4. Converta para kg:

$$m_{\text{kg}} = \frac{m_{\text{g}}}{1000}$$

5. Calcule o peso em Newtons:

$$W = m_{\text{kg}} \cdot g (\text{onde } g = 9,81 \text{ m/s}^2)$$

---

#### Exemplo Preenchido

Componente	Quantidade	Massa unitária (g)	Massa total (g)	Observações
Varetas “perna”	4	10	40	0,8 m cada

Componente	Quantidade	Massa unitária (g)	Massa total (g)	Observações
Varetas “cruz”	4	10	40	0,8 m cada
Cobertura	0,5 m <sup>2</sup>	50 g/m <sup>2</sup>	25	Papel/plástico leve
Cordas/arreio	1	10	10	
<b>Massa total</b>	-	-	115 g	0,115 kg

$$W = 0,115 \cdot 9,81 \approx 1,13 \text{ N}$$

#### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:

NASA. *Partes de um planador*. Disponível em: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/kitepart.html>. Acesso em: 1 set. 2025.