

# Produto Vetorial e Cônicas

MAP 2110 - Diurno

IME USP

7 de abril

## Definição do Produto Vetorial

$$\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$$

$$\vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$$

$$\vec{a} \times \vec{b} = (a_2 b_3 - a_3 b_2, a_3 b_1 - a_1 b_3, a_1 b_2 - a_2 b_1)$$

## Exemplos

Uma reta  $L$  em  $V_2$  contém os pontos  $P = (-3, 1)$  e  $Q = (1, 1)$ ,  
quais dos seguintes pontos também estão em  $L$

A  $(0, 1, 2) \times (1, 0, -1)$

B  $(\mathbf{i} \times \mathbf{k}) \times \mathbf{j}$

C  $(\mathbf{i} \times \mathbf{i}) \times \mathbf{j}$

D  $(\mathbf{i} + 2\mathbf{j}) \times (2\mathbf{i} - \mathbf{k})$



# Propiedades

- ▶  $(\vec{a} \times \vec{b}) = -(\vec{b} \times \vec{a})$
- ▶  $\vec{a} \times (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{a} \times \vec{b} + \vec{a} \times \vec{c}$
- ▶  $\alpha(\vec{a} \times \vec{b}) = \alpha\vec{a} \times \vec{b}$
- ▶  $\|\vec{a} \times \vec{b}\|^2 = \|\vec{a}\|^2 \|\vec{b}\|^2 - (\vec{a} \cdot \vec{b})^2$



## Exercício

Sejam dados os vetores  $\vec{a} = 2\mathbf{i} - \mathbf{j} + 2\mathbf{k}$  e  $\vec{c} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j} - \mathbf{k}$ , encontrar um vetor  $\vec{b}$  tal que  $\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c}$ . Esta solução é única?

## solução

Seja  $\vec{b} = b_1\mathbf{i} + b_2\mathbf{j} + b_3\mathbf{k}$  Então podemos escrever usando a propriedade distributiva :

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{a} \times b_1\mathbf{i} + \vec{a} \times b_2\mathbf{j} + \vec{a} \times b_3\mathbf{k}$$

usamos que  $\mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}$   $\mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i}$   $\mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j}$

$$\vec{a} \times \vec{b} = (-b_3 - 2b_2)\mathbf{i} + (2b_1 - 2b_3)\mathbf{j} + (b_1 + 2b_2)\mathbf{k}$$



Comparando os vetores temos o sistema

$$-2b_2 - b_3 = 3$$

$$2b_1 - 2b_3 = 4$$

$$b_1 + 2b_2 = -1$$

O sistema é indeterminado e podemos escrever as soluções como

$$\vec{b} = (2\mathbf{i} - \frac{3}{2}\mathbf{j}) + b_3(\mathbf{i} - \frac{1}{2}\mathbf{j} + \mathbf{k})$$

Para que  $\vec{a} \cdot \vec{b} = 1$  a solução é única ( $b_3 = \frac{-11}{9}$ )

## Definição

O Apostol apresenta três possíveis definições de cônicas, e todos são equivalentes. Mas vamos usar a definição que faz mais uso do conceito de vetor. Nossa situação agora num plano. Então podemos fazer todas as contas em  $V_2$ .

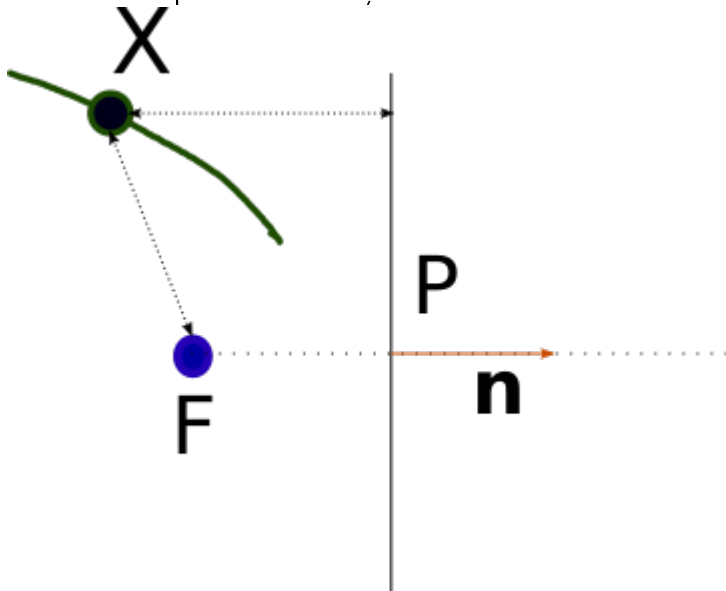
**Definição:** Se  $L$  é uma reta em  $V_2$ ,  $F$  é um ponto fora de  $L$  e  $e > 0$  um número real positivo, então o conjunto:

$$C = \{X : \|X - F\| = ed(X, L)\}$$

é uma cônica, e diremos que  $C$  é uma elipse se  $e < 1$ , uma parábola se  $e = 1$  e uma hipérbole se  $e > 1$

## Como expressar $d(X, L)$

Nosso problema agora é escrever as equações das cônicas de forma mais direta a partir das definições.



Na figura,  $\mathbf{n}$  é um vetor unitário apontando para o lado contrário de  $F$  Então temos:

$$F - P = -d\mathbf{n} \quad d > 0 \quad \text{e} \quad F - P = (F - X) + (X - P)$$

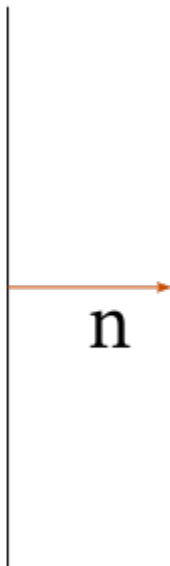
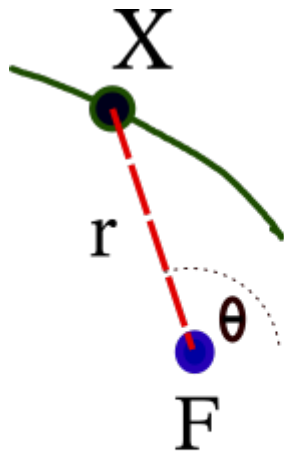
$$(F - P) \cdot \mathbf{n} = (F - X) \cdot \mathbf{n} + (X - P) \cdot \mathbf{n}$$

$$-d = -(X - F) \cdot \mathbf{n} - d(X, L) \implies d(X, L) = |(X - F) \cdot \mathbf{n} - d|$$

Isto dá uma forma equivalente de definir a cônica onde não aparece diretamente a reta diretriz!

$$\|X - F\| = e|(X - F) \cdot \mathbf{n} - d|$$

## Equações polares



$$\|X - F\| = r \quad (X - F) \cdot \mathbf{n} = r \cos(\theta)$$

$$r = e|r \cos(\theta) - d|$$

Se  $r \cos(\theta) - d \leq 0$  então  $|r \cos(\theta) - d| = d - r \cos(\theta)$  e a equação da cônica fica

$$r = \frac{ed}{1 + e \cos \theta}$$

No outro caso, se  $r \cos(\theta) - d > 0$  teremos

$$r = \frac{ed}{e \cos \theta - 1}$$

claramente isso só ocorre se  $e > 1$ , ou seja, só na hipérbole.





## Equações cartesianas

Voltando às equações de definição das cônicas

$$\|X - F\| = e|(X - F) \cdot \mathbf{n} - d|$$

Vamos assumir que temos simetria em relação à origem e elevar os lados ao quadrado.

$$\begin{aligned}(X - F)^2 &= e^2((X - F) \cdot \mathbf{n} - d)^2 \\ \|X\|^2 - 2X \cdot F + \|F\|^2 &= e^2(X \cdot \mathbf{n})^2 + 2ea(X \cdot \mathbf{n}) + a^2 \\ a &= ed + eF \cdot \mathbf{n}\end{aligned}$$

usando a simetria teremos

$$\|X\|^2 + e^2 a^2 = e^2(X \cdot \mathbf{n})^2 + a^2$$

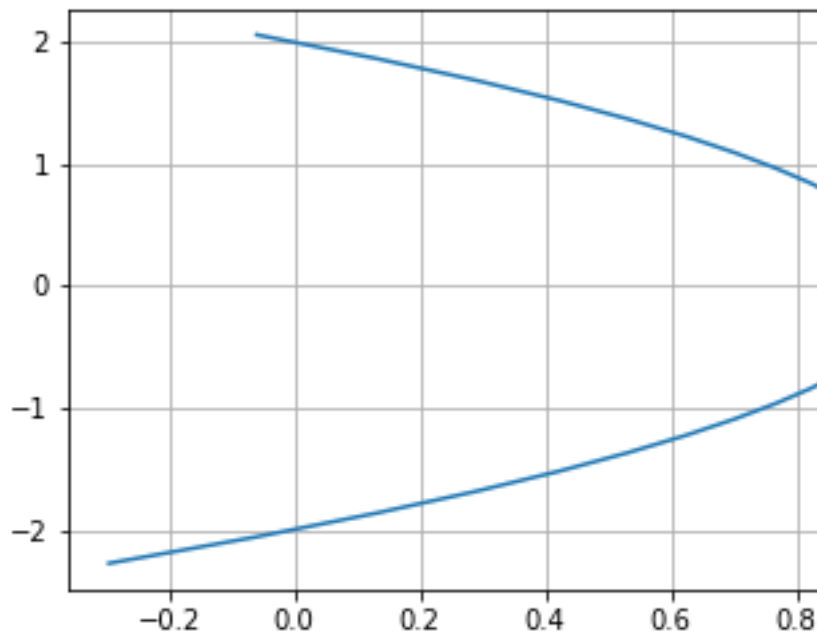
## Exercício 1

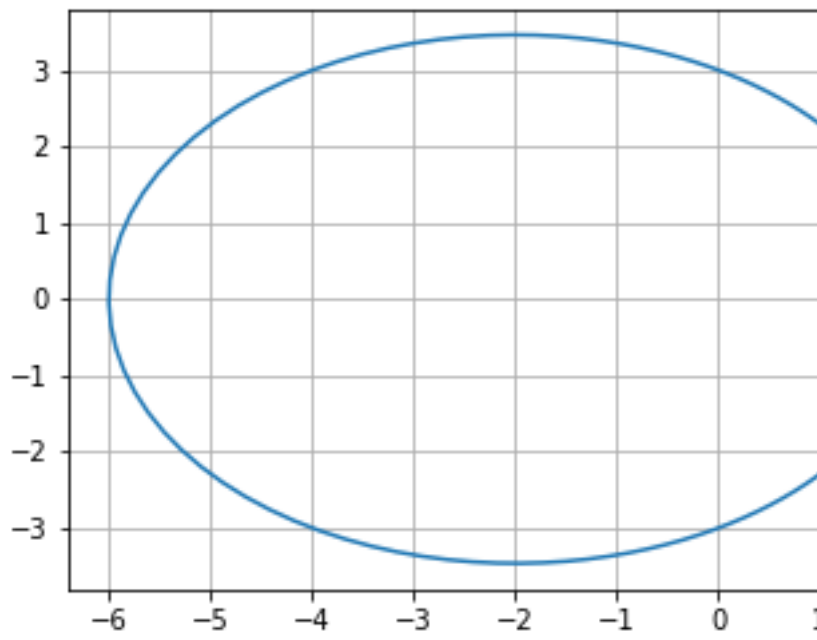
fazer o esboço da curva:

$$r = \frac{2}{1 + \cos \theta}$$

$$r = \frac{3}{1 + 0.5 \cos(\theta)}$$

No primeiro caso temos uma parábola ( $e = 1$ ), com  $d = 2$ , e no segundo caso uma elipse ( $e = 0.5$ ) com  $d = 6$





Achar a equação polar da cônica com  $e = 1/2$  e diretriz  $3x + 4y = 25$ . (Foco em  $(0,0)$ )

A reta diretriz passa por  $(3, 4)$ , e também  $(3, 4)$  é um vetor normal à diretriz. Temos então que  $d = 5 = \|(3, 4)\|$  como  $e = 0.5$  a equação polar fica

$$r = \frac{2.5}{1 + 0.5 * \cos(\theta - \theta_0)}$$

A reta diretriz passa por  $(3, 4)$ , e também  $(3, 4)$  é um vetor normal à diretriz. Temos então que  $d = 5 = \|(3, 4)\|$  como  $e = 0.5$  a equação polar fica

$$r = \frac{2.5}{1 + 0.5 * \cos(\theta - \theta_0)}$$

Aqui  $\theta_0$  é o ângulo que a reta normal à diretriz forma com  $i$ , ou seja  $\cos(\theta_0) = 3/5$ .