SCC0251
Processamento de Imagens

Transformações Geométricas e Interpolação

Professora Leo Sampaio Ferraz Ribeiro

Slide para não esquecer de passar a lista

Júpiter - Sistema de Gestão Acadêmica da Pró-Reitoria de Graduação

Lista de Presença

Unidade: 55 Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Disciplina: SCC0251 Processamento de Imagens
Turma: 2025101 - Teórica
Período: 24/02/2025 - 07/07/2025
Disciplina COM 2ª Avaliação.

Horário	Prof(a).
qua 08:10 09:50	Leo Sampaio Ferraz Ribeiro
sex 08:10 09:50	Leo Sampaio Ferraz Ribeiro

NºUSP	Ingr.	Curso	Nome	dia __/__/___	dia __/__/___	dia __/__/___
14712657	28/02/2024	55041	Allan Vitor de Souza Silva			
13687196	11/02/2022	55071	Amabile Pietrobon Ferreira			
13687108	23/02/2022	55090	Arthur Hiratsuka Rezende			
12691964	13/03/2023	55041	Arthur Pin			
13671532	11/02/2022	55041	Arthur Queiroz Moura			
12745212	03/05/2021	97001	Asafe Henrique de Oliveira Franca			
12542481	16/04/2021	55041	Bernardo Maia Coelho			
12733212	29/04/2021	55041	Bernardo Rodrigues Tameirao Santos			
14745682	13/03/2023	55071	Bruno Batista Pereira da Silva			
13672220	25/03/2022	55041	Camila Donda Ronchi			
12542630	18/03/2021	55041	Carlos Filipe de Castro Lemos			
14746015	24/02/2025	55090	Diego Gladcheff Munhoz			
12556973	25/02/2022	55041	Eduarda Fritzen Neumann			
14568142	27/01/2023	55090	Enzo Castelo Branco Biondi			
13781841	07/03/2022	55041	Enzo Yasuo Hirano Harada			
12547423	13/03/2023	55041	Fabricio Sampaio			

Slide para mencionar porque não tivemos últimas aulas

Slide para perguntar se temos dúvidas do trabalho

SCC0251 — Profa. Leo Sampaio Ferraz Ribeiro

Trabalho 01 : amostragem e quantização

Desenvolva o trabalho sem olhar o de colegas. Plágio não é tolerado. Se precisar de ajuda, estamos aqui para isso.

1 Gerador de Imagens

1.1 Objetivo

Familiarizar discentes com as ferramentas que terão que usar durante o resto do curso; Reforçar os conceitos de sampling/amostragem de imagens.

1.2 Tarefa

Nesse trabalho vocês devem implementar um **Gerador de Imagens** usando funções matemáticas, um **Amostrador de Imagens** [simulado]. Leia as instruções para cada passo. Use `python` com as bibliotecas `numpy` e `imageio`.

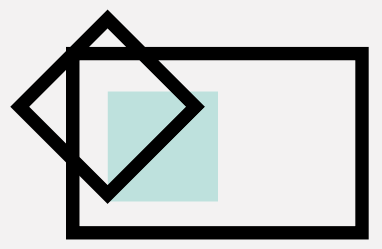
Seu programa vai gerar uma imagem sintética e depois simular o processo de amostragem sobre a mesma:

1. **Gere a Imagem Sintética**, f, de acordo com a função selecionada F e os parâmetros C e Q,
2. **Faça uma Amostragem e Quantização de** f para criar g, com os parâmetros de amostragem e quantização N e B,
3. **Compare** g com a imagem de referência r, usando a raiz do erro quadrático (Root Squared Error, RSE),
4. **Imprima na tela** o RSE computado entre g and r.

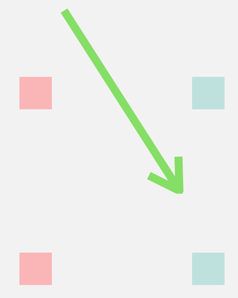
Slide para falar sobre exercícios no e-disciplinas

19/03, qua.	Aula	Fundamentos do Processamento de Imagens	Relação entre pixels e operações básicas.	3		
21/03, sex.	Aula	Melhorias em Imagens	Transformações de intensidade e correção de contraste.	4		
26/03, qua.	Aula	Melhorias em Imagens	Técnicas de equalização de histograma.	5	Entrega T1 e Abertura T2	Entrega E1
28/03, sex.	Aula	Filtragem	Filtros espaciais para suavização.	6		
02/04, qua.	Aula	Filtragem	Filtros espaciais para realce de bordas e detalhes.	7		
04/04, sex.	Aula	Transformada de Fourier	Introdução à Transformada de Fourier	8		
09/04, qua.	Aula	Transformada de Fourier	Introdução à Transformada de Fourier em duas dimensões.	9		
11/04, sex.	Aula	Transformada de Fourier	Conceitos de filtragem no domínio da frequência.	10		
16/04, qua.	Feriado	Semana Santa			Entrega T2 e Abertura T3	Entrega E2

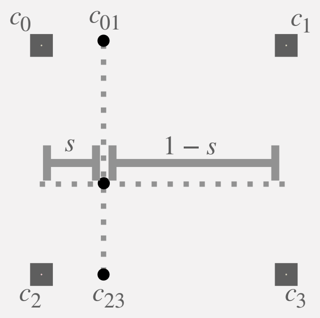
Agenda



Transformações Geométricas



Computação de Endereços



Interpolação

Por que Transformações Geométricas?

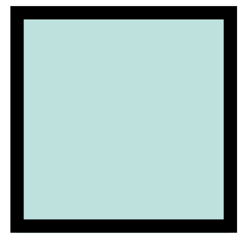
> Como posso salvar essa foto?

Por que Transformações Geométricas?

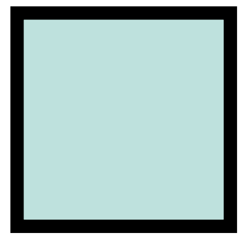
> Como posso salvar essa foto?

Transformações Afim

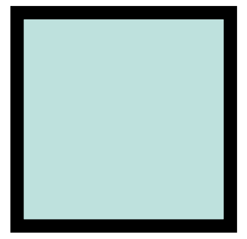
Translação



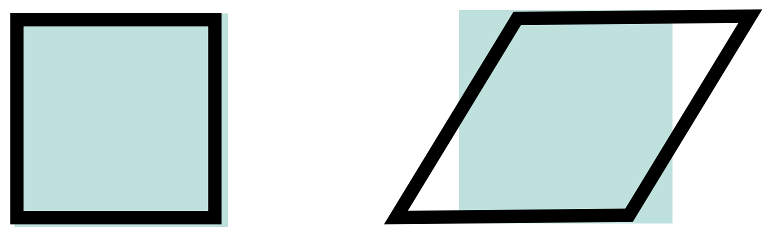
Rotação



Escala



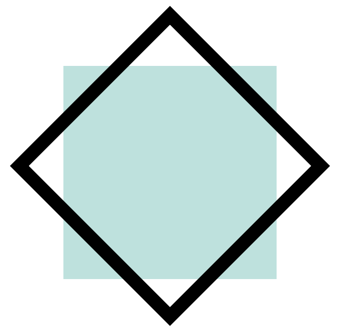
Skew/Shearing



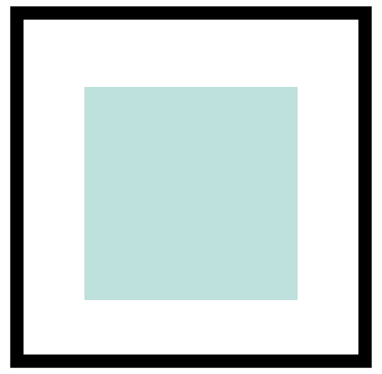
Transformações Afim

- Translação

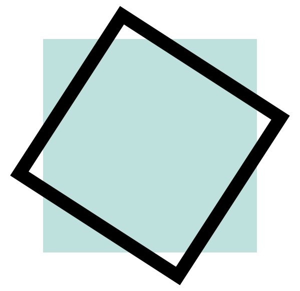
- Rotação



- Escala



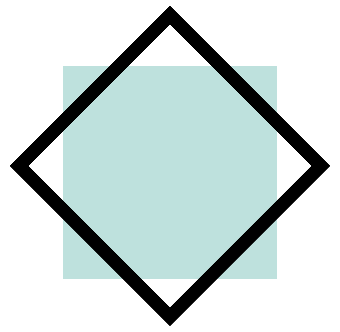
- Skew/Shearing



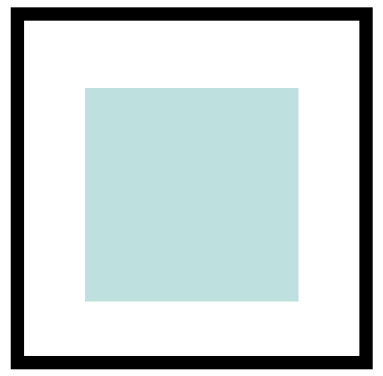
Transformações Afim

- Translação

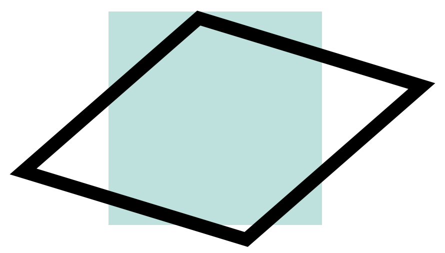
- Rotação



- Escala



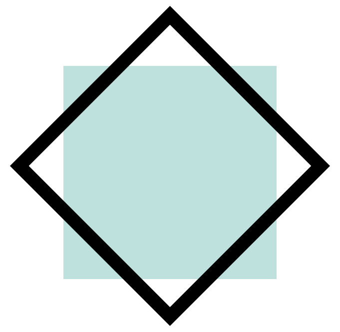
- Skew/Shearing



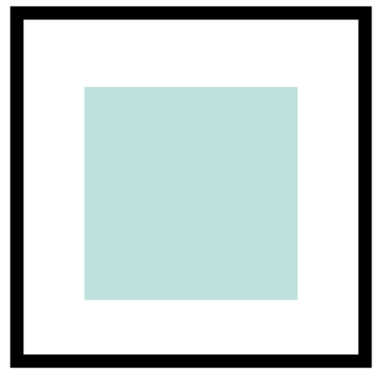
Transformações Afim

Translação

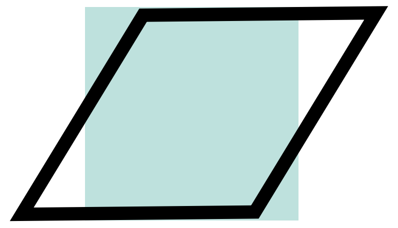
Rotação



Escala



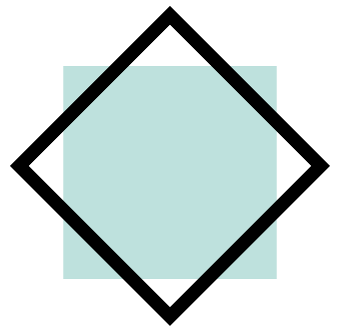
Skew/Shearing



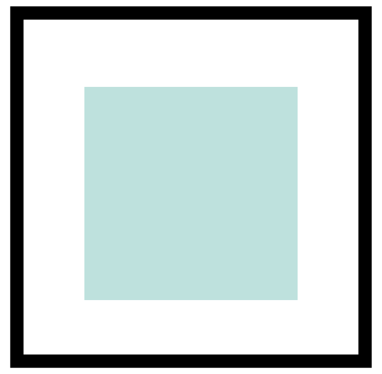
Transformações Afim

Translação

Rotação



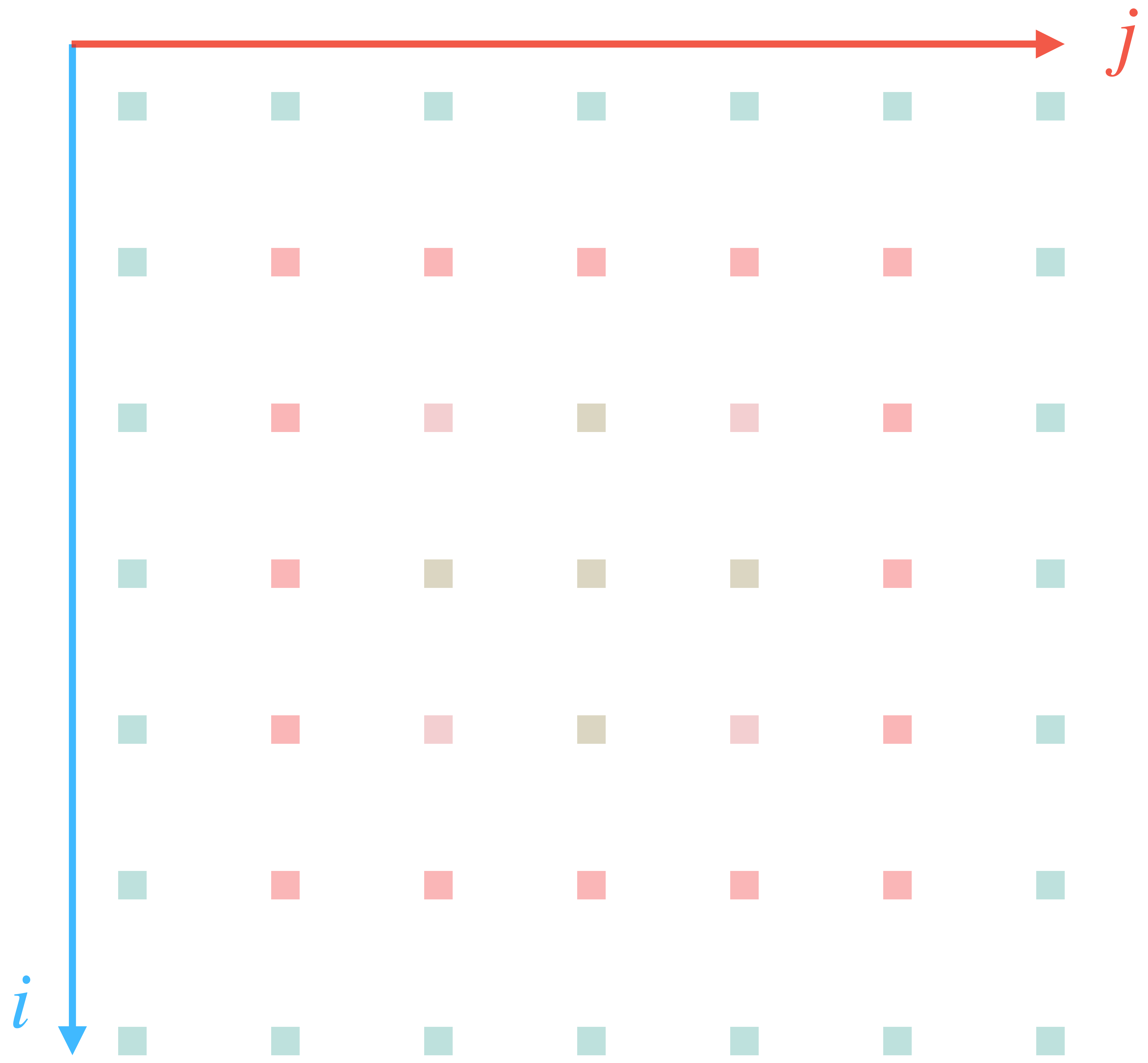
Escala



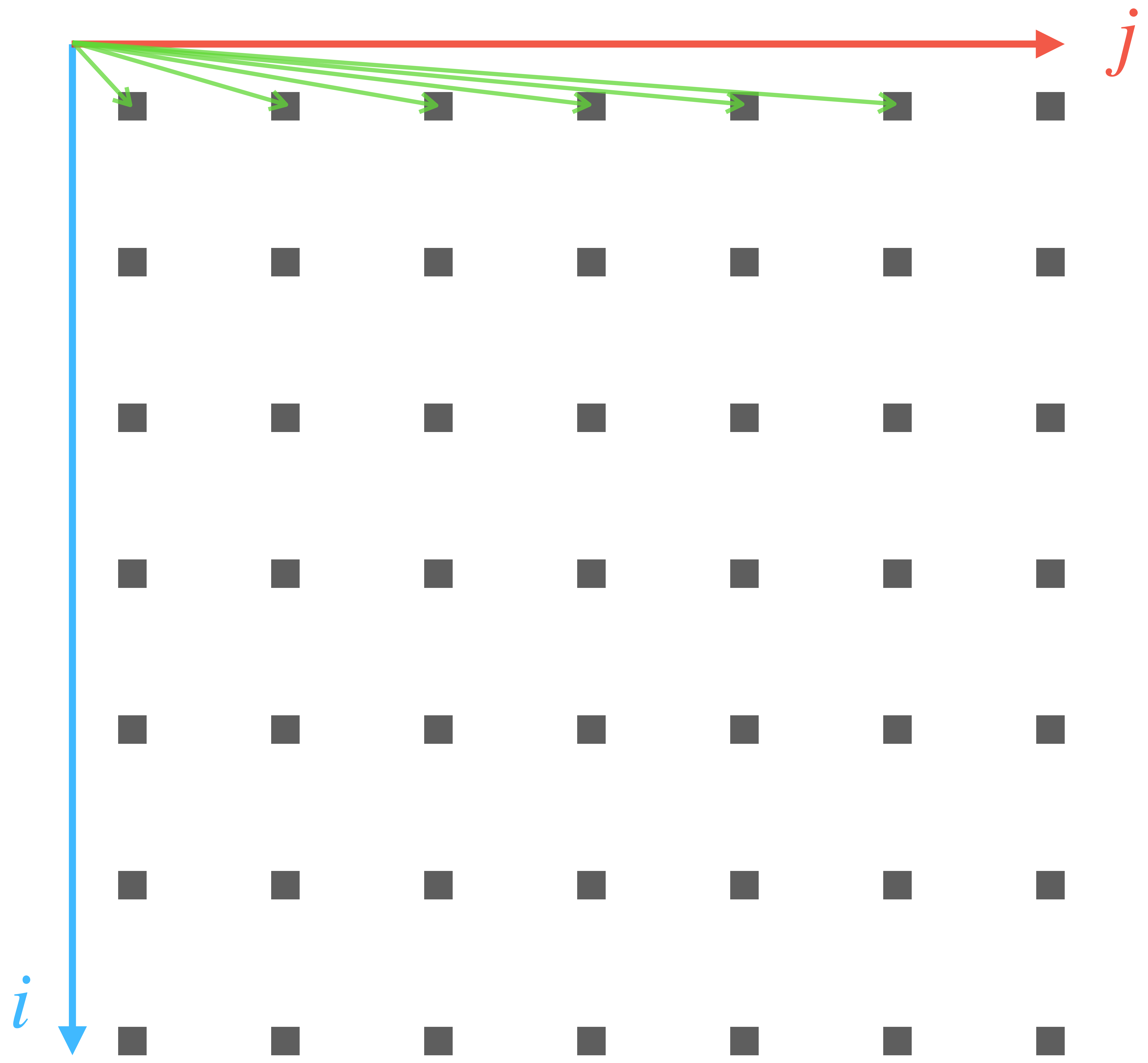
Transformações Afim

Transformações Afim

Transformações Afim



Transformações Afim



(1,1)

(1,2)

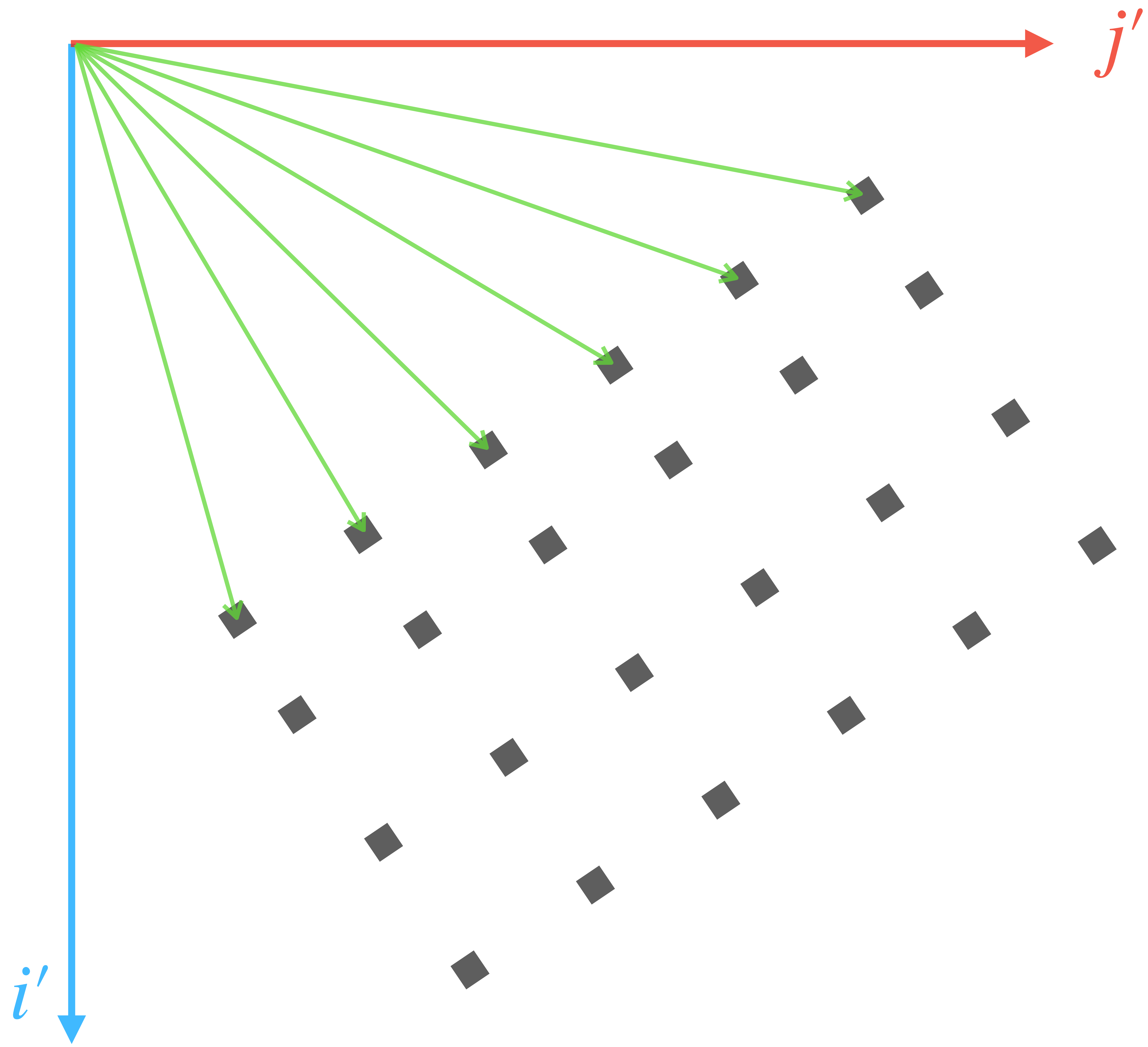
(1,3)

(1,4)

(1,5)

(1,6)

Transformações Afim



$(1,1) \longrightarrow (?,?)$

$(1,2) \longrightarrow (?,?)$

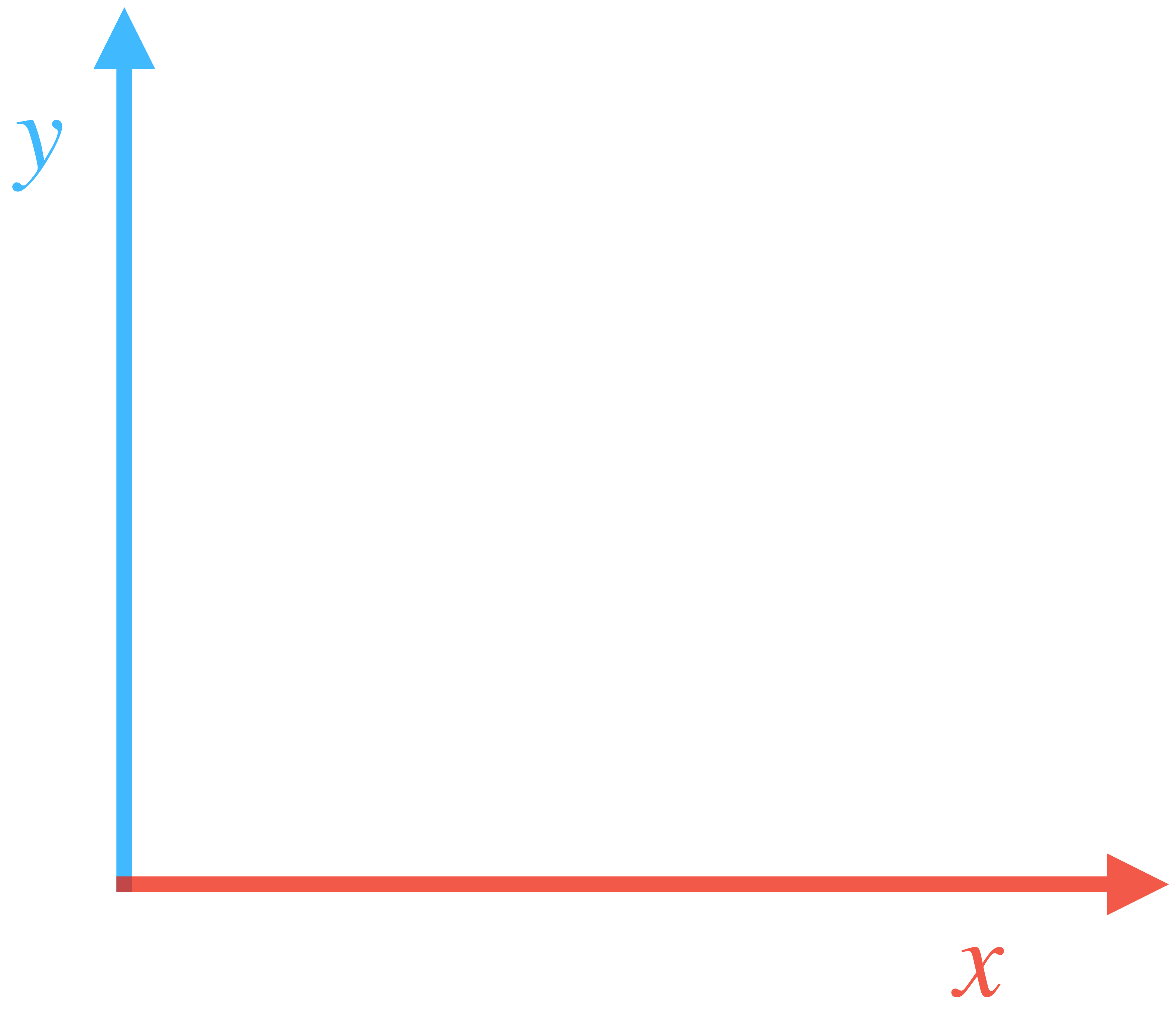
$(1,3) \longrightarrow (?,?)$

$(1,4) \longrightarrow (?,?)$

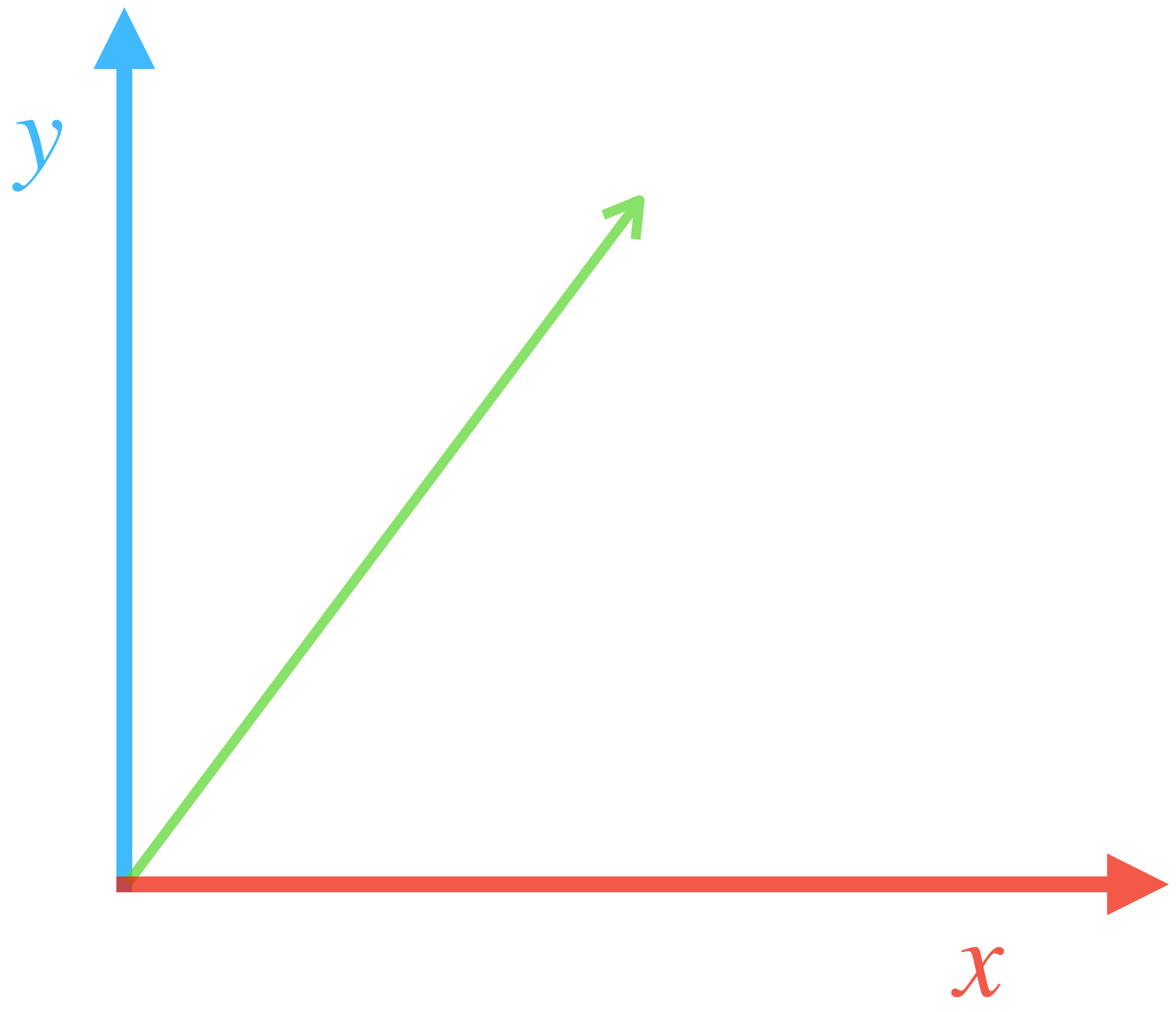
$(1,5) \longrightarrow (?,?)$

$(1,6) \longrightarrow (?,?)$

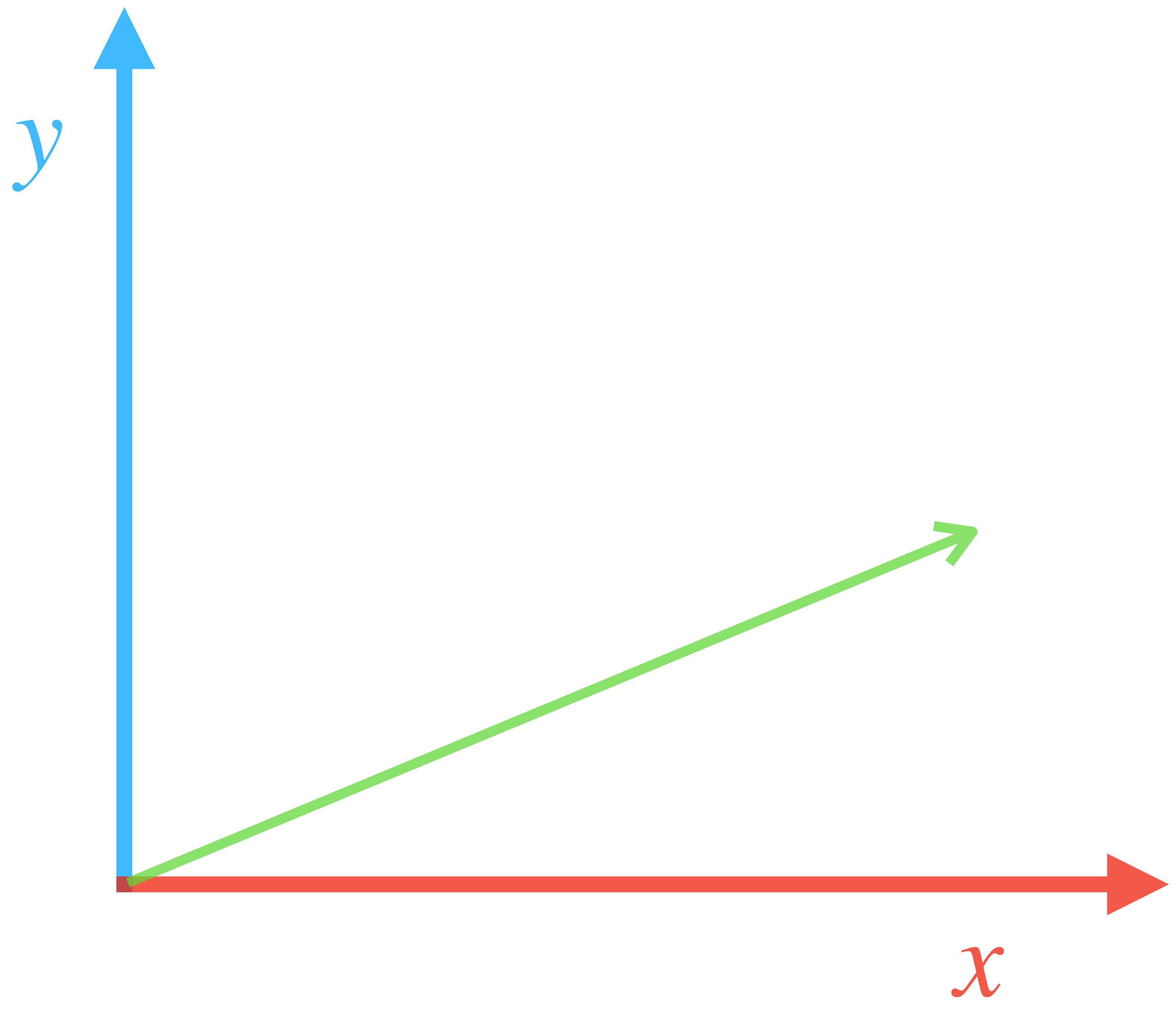
Transformações Afim



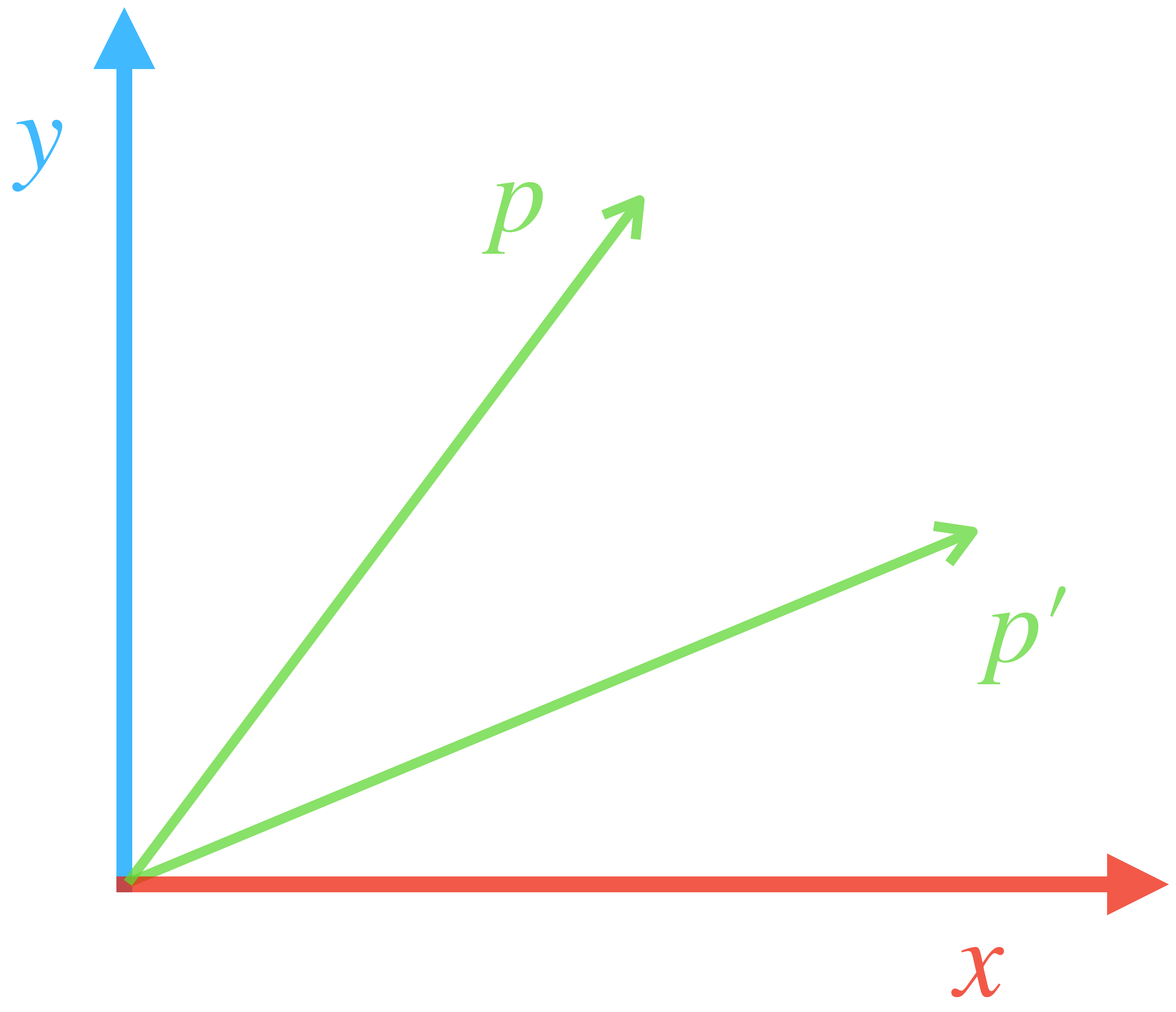
Translação



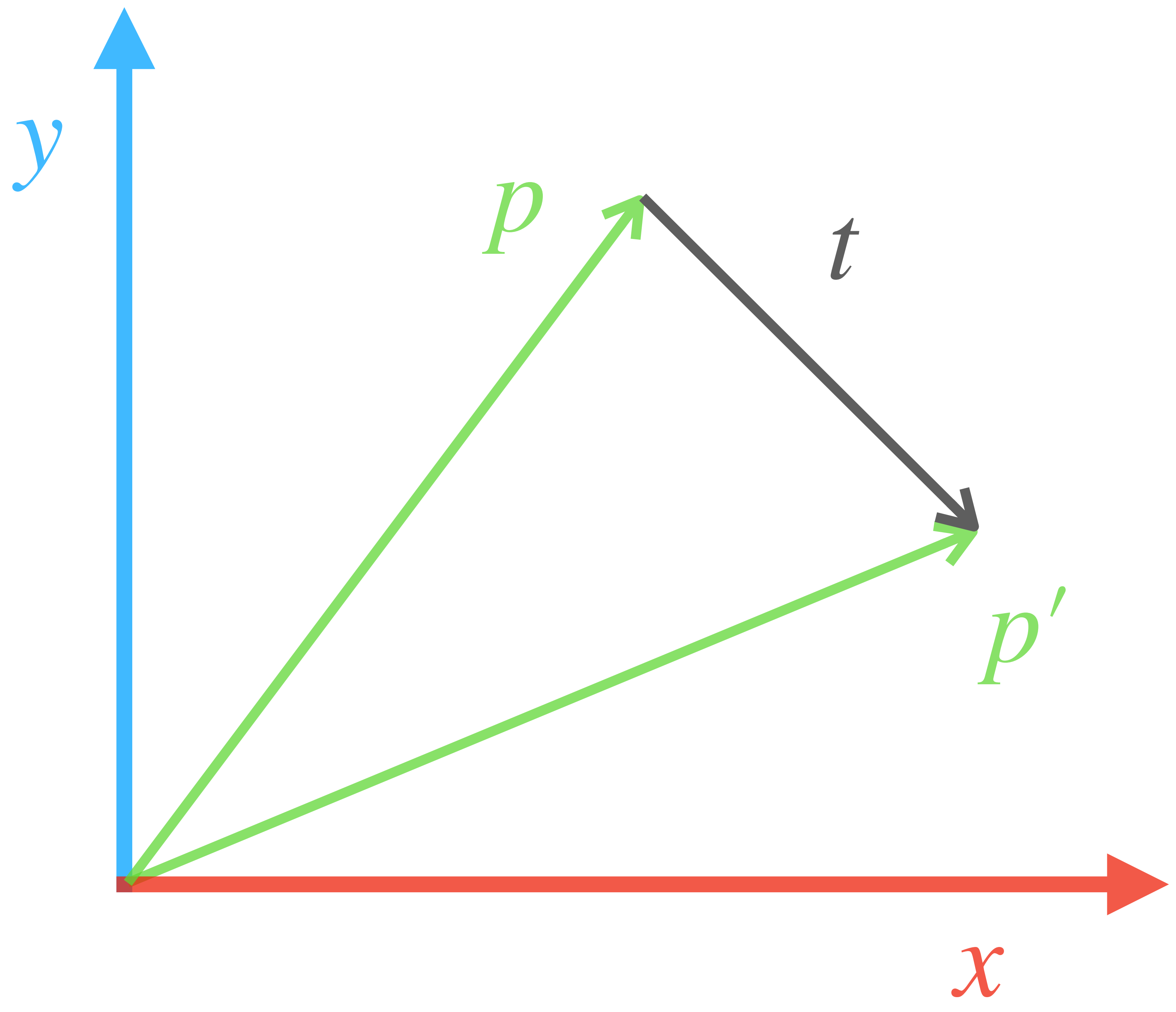
Translação



Translação



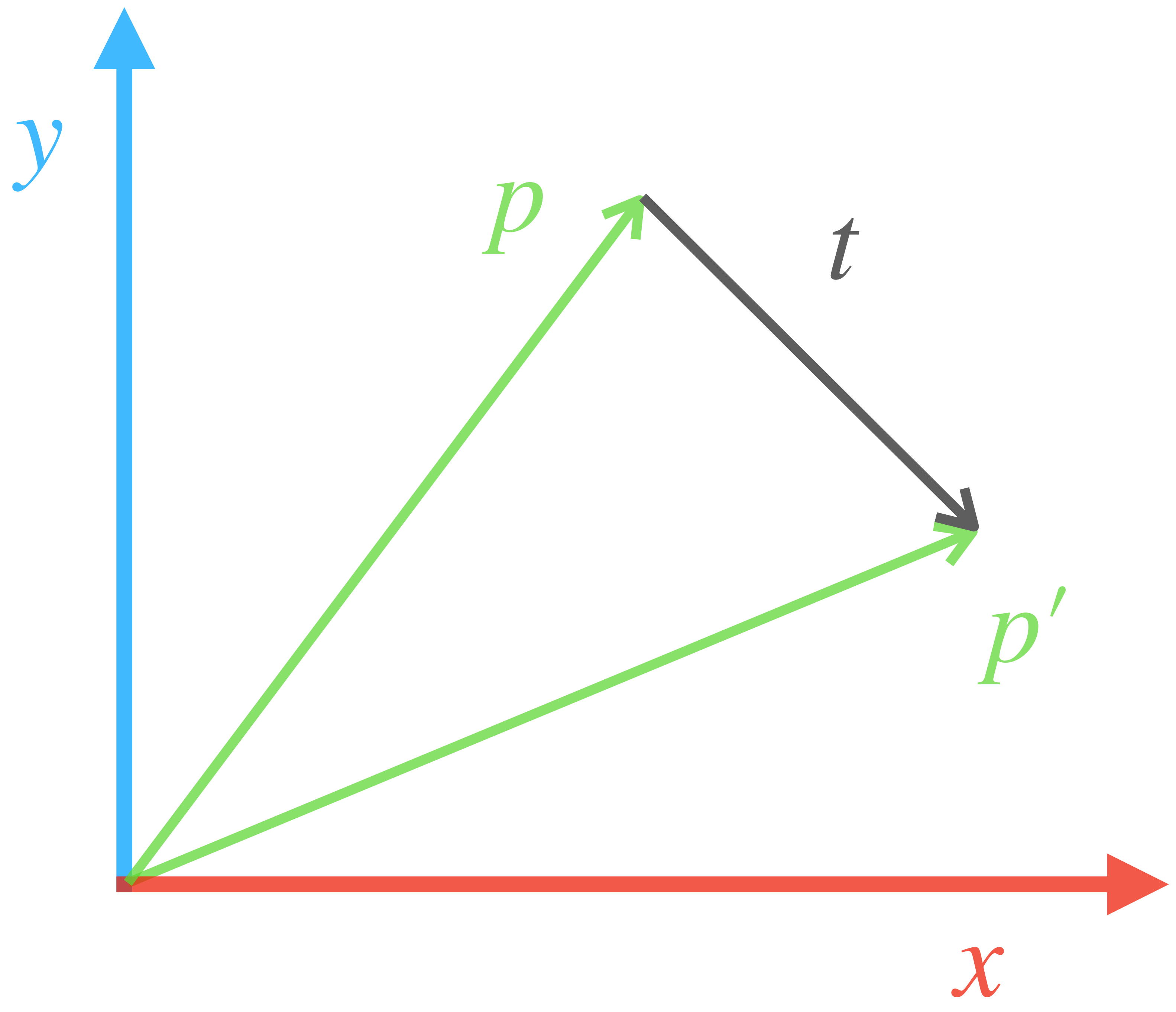
Translação



$$p' = p + t$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x + t_x \\ p_y + t_y \end{bmatrix}$$

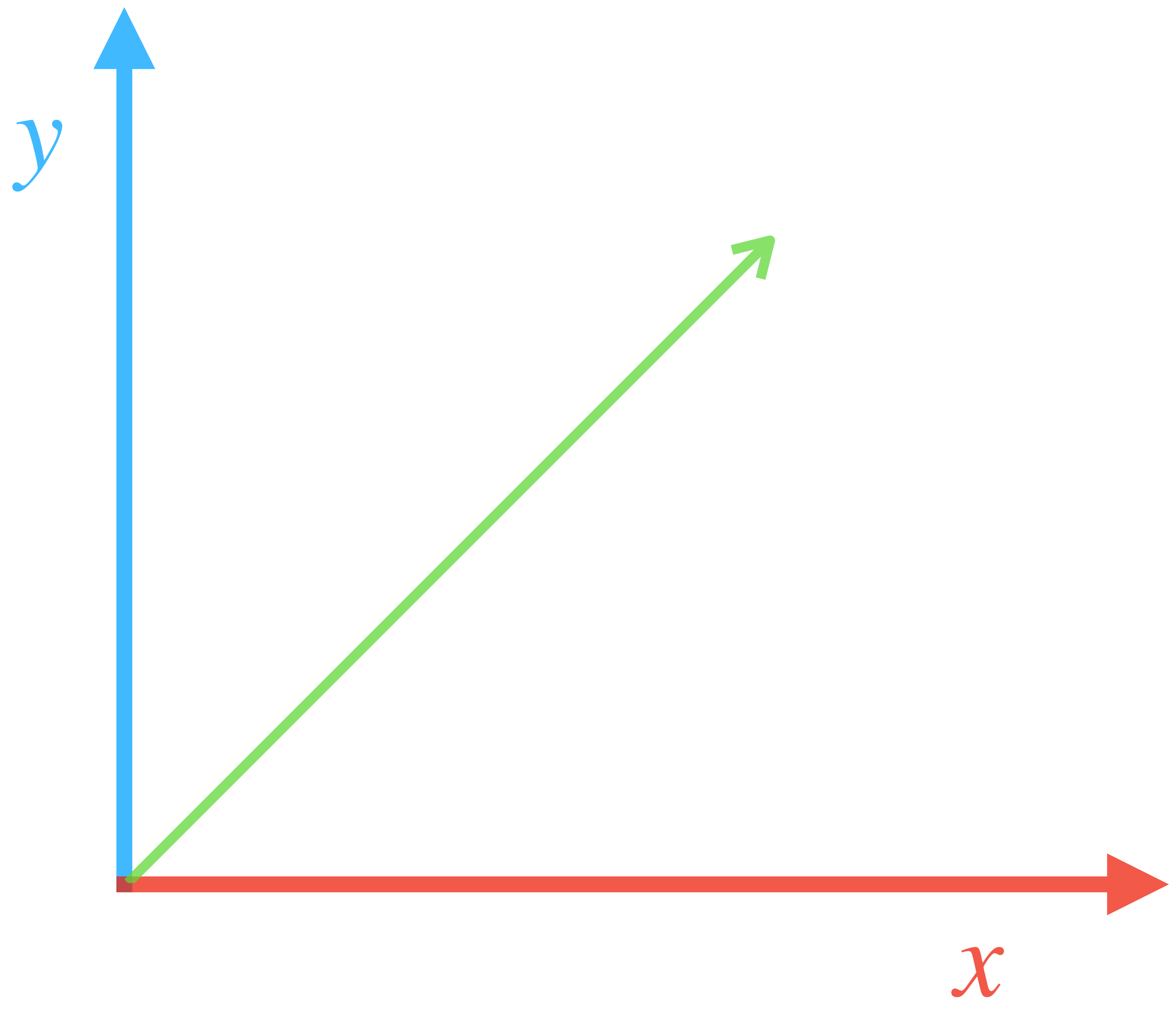
Translação



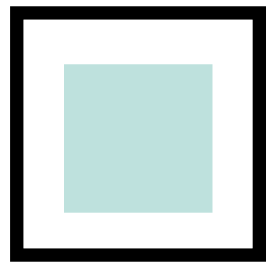
$$p' = p + t$$

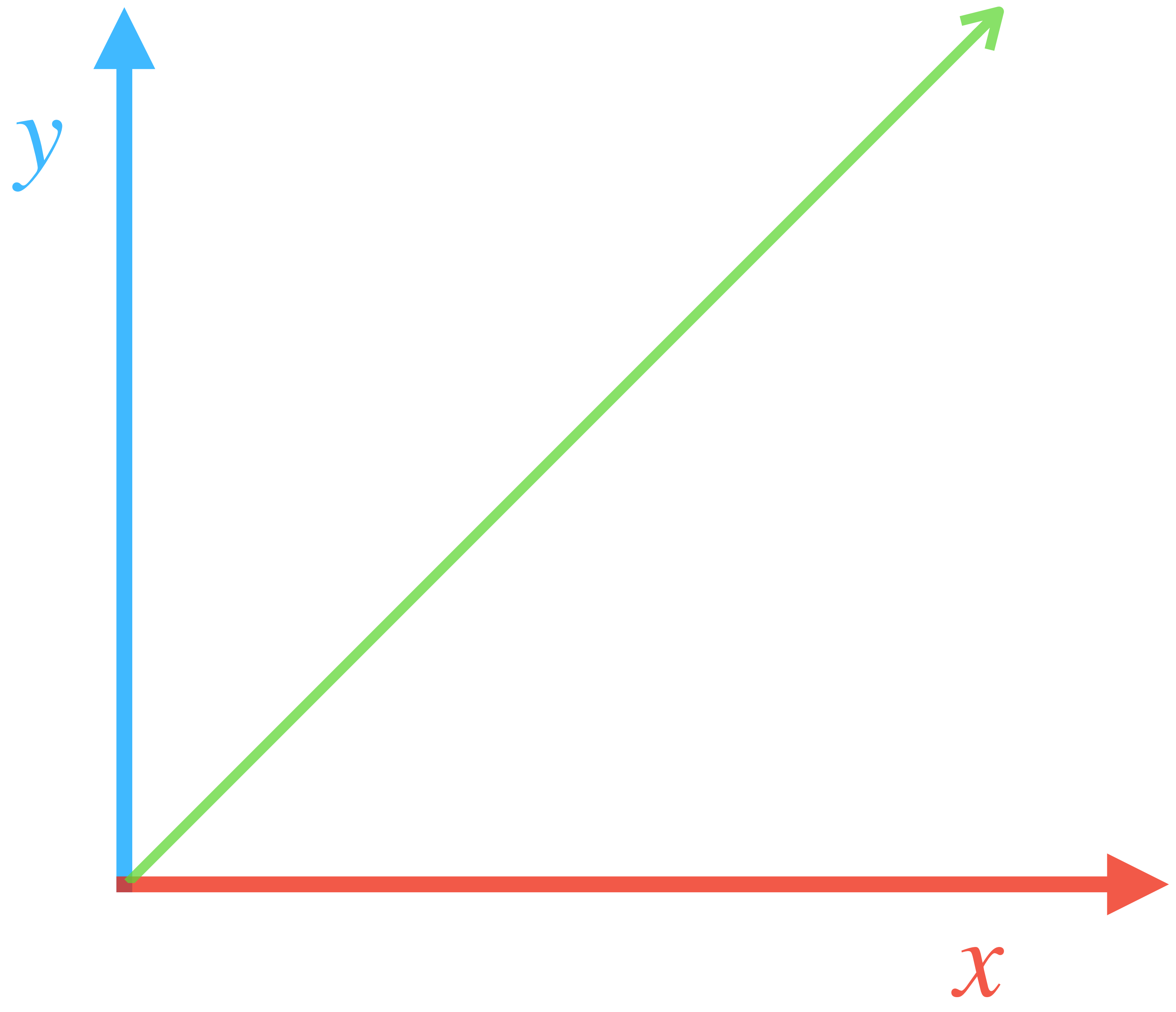
$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x + t_x \\ p_y + t_y \end{bmatrix}$$

Escala

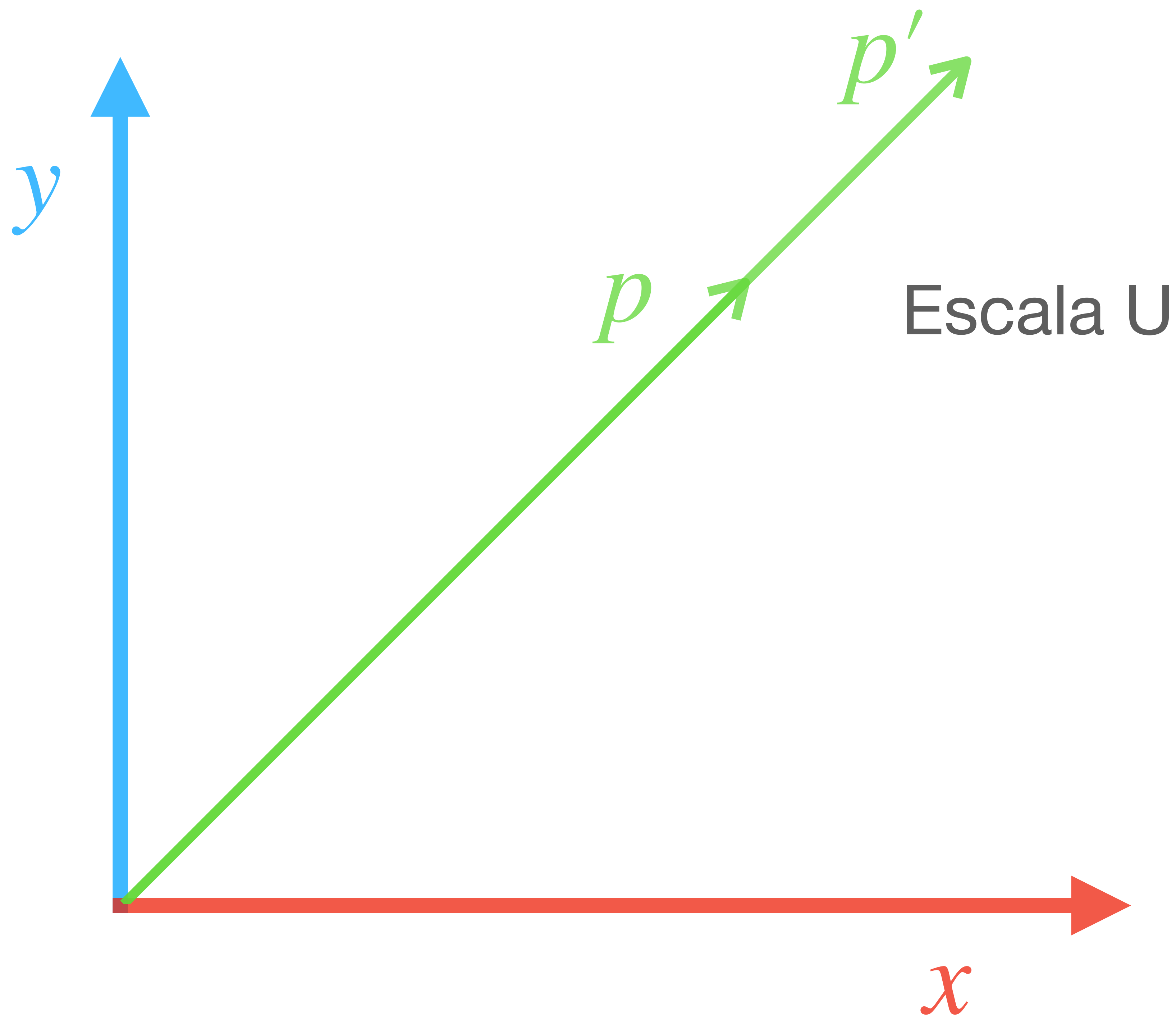


Escala





Escala

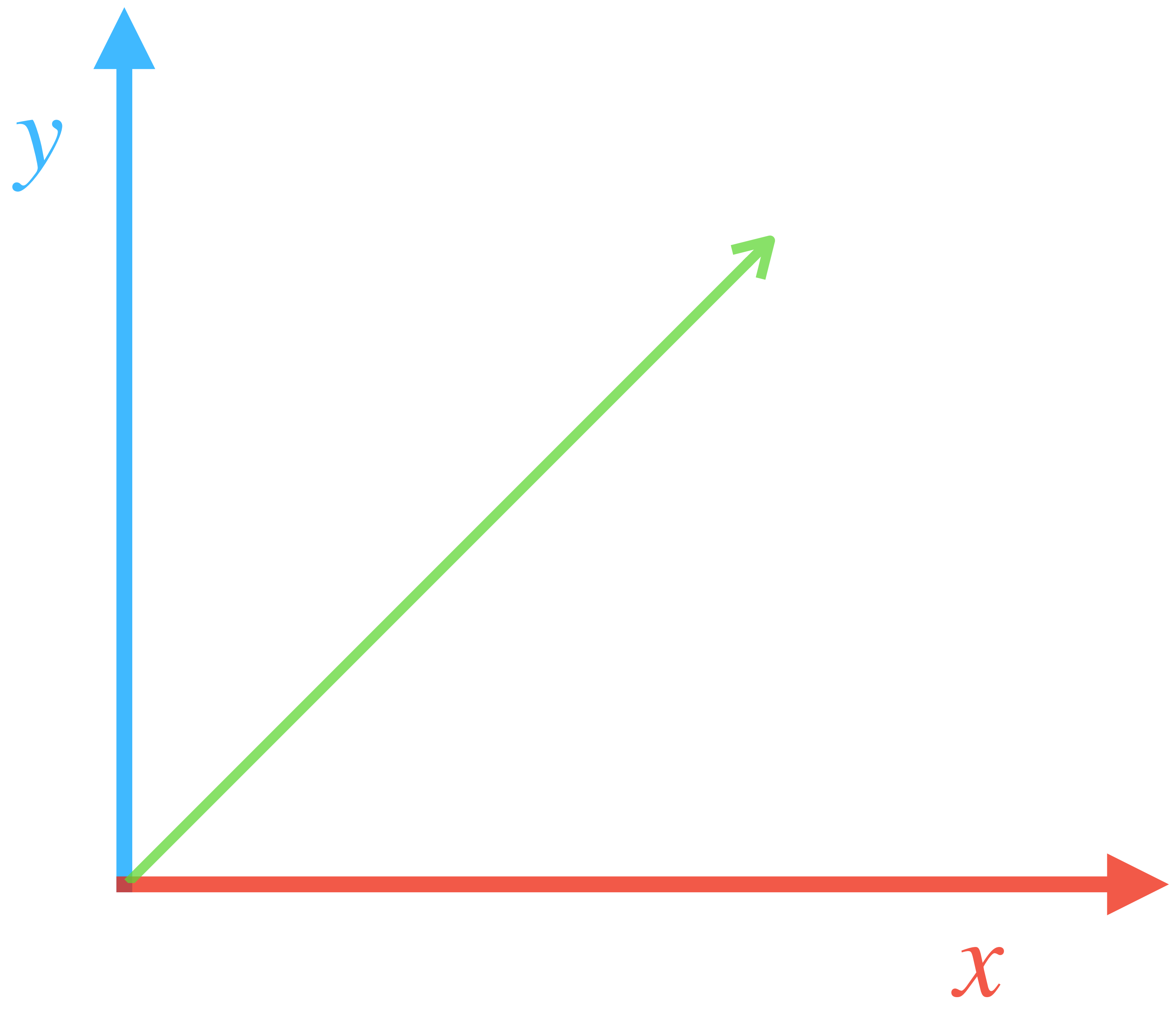


Escala Uniforme

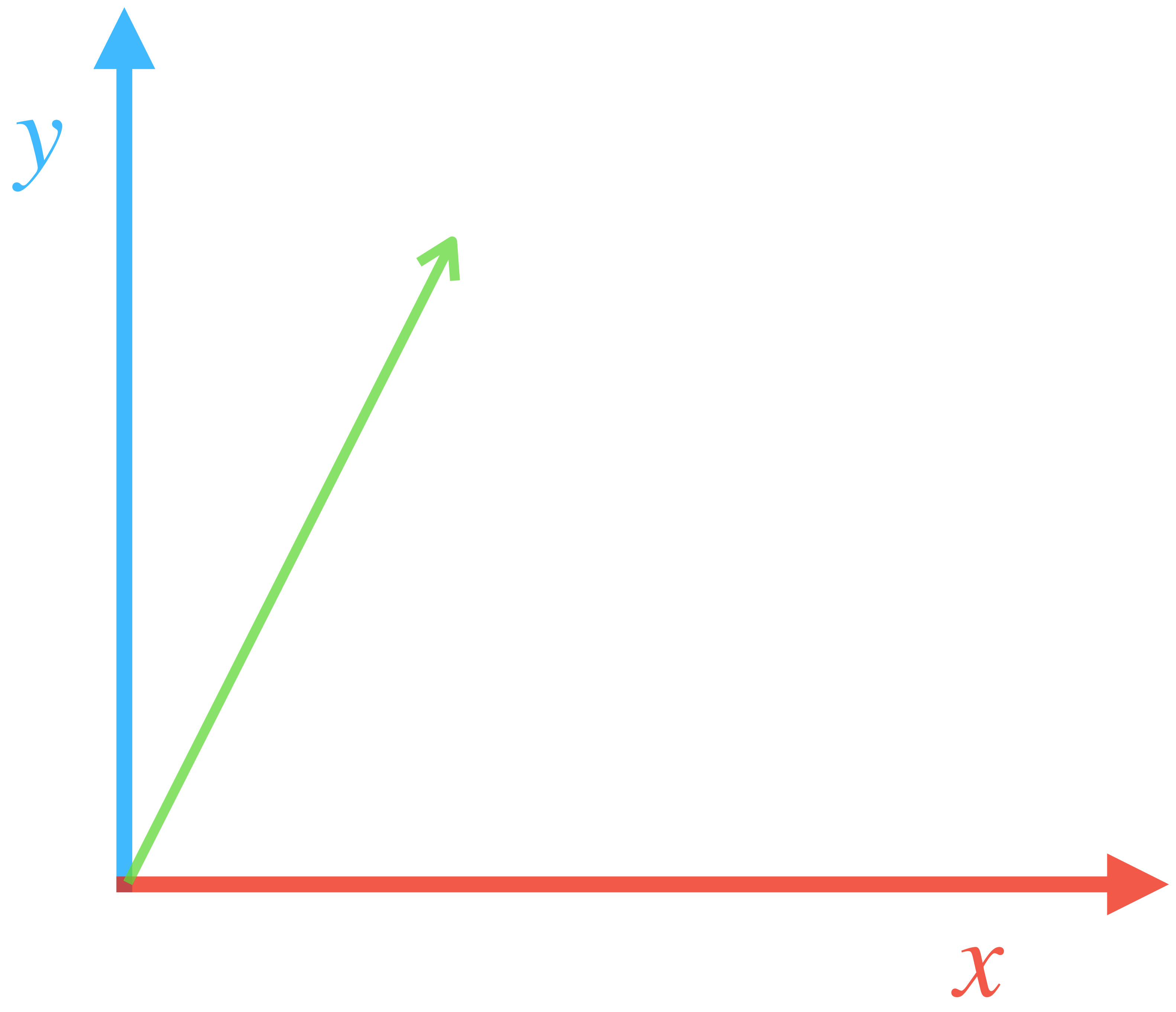
$$p' = sp$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sp_x \\ sp_y \end{bmatrix}$$

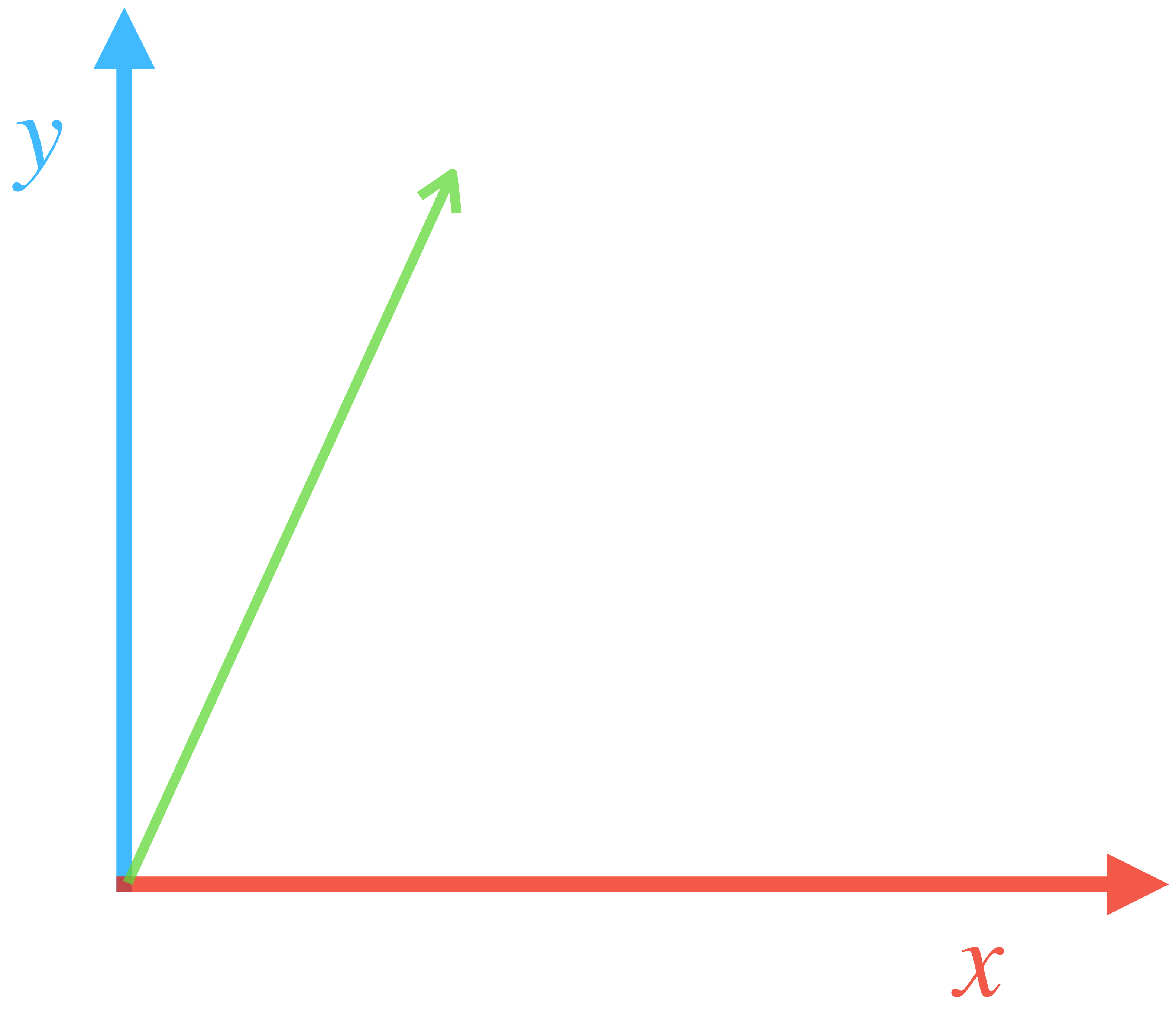
Escala



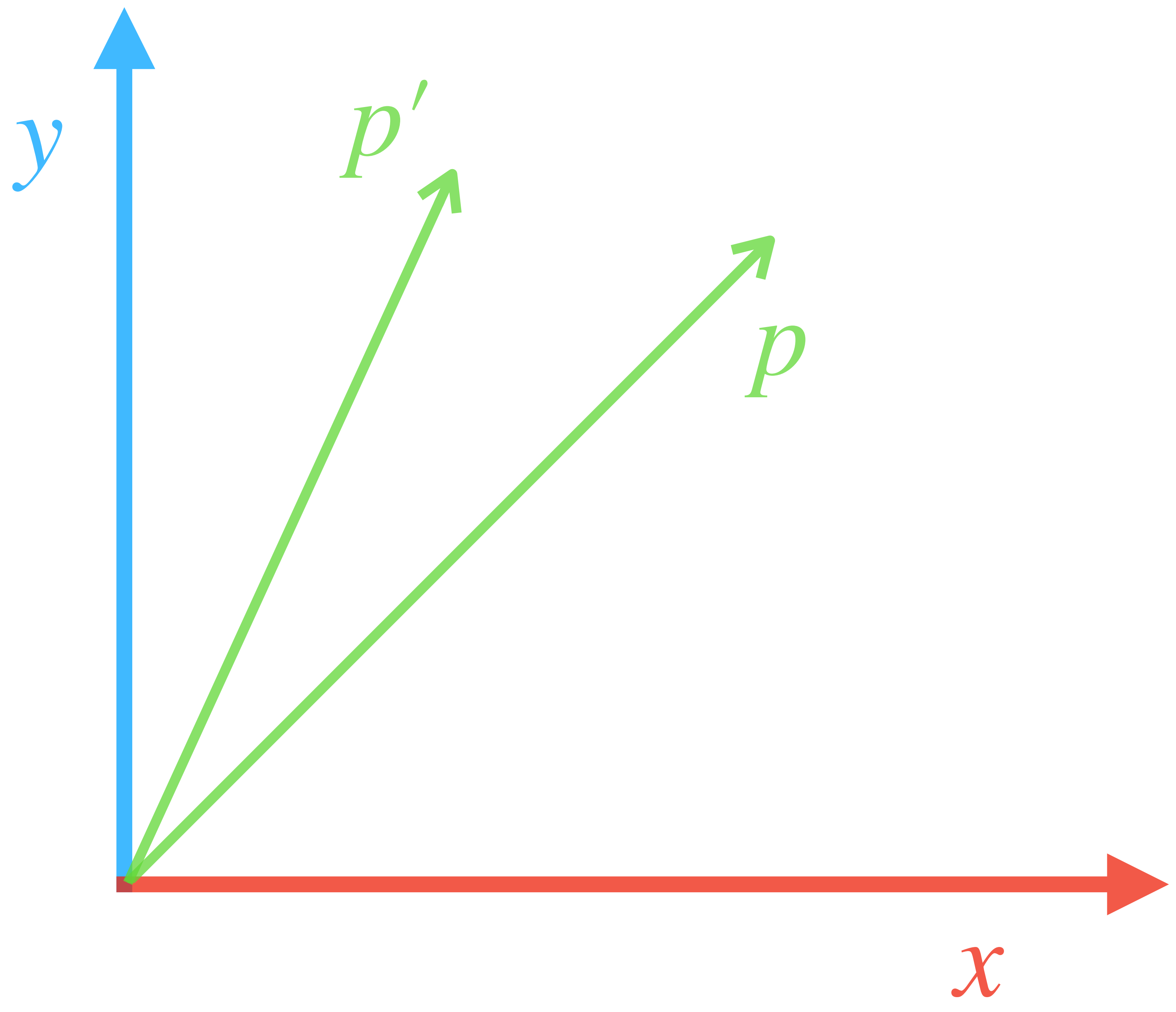
Escala



Escala

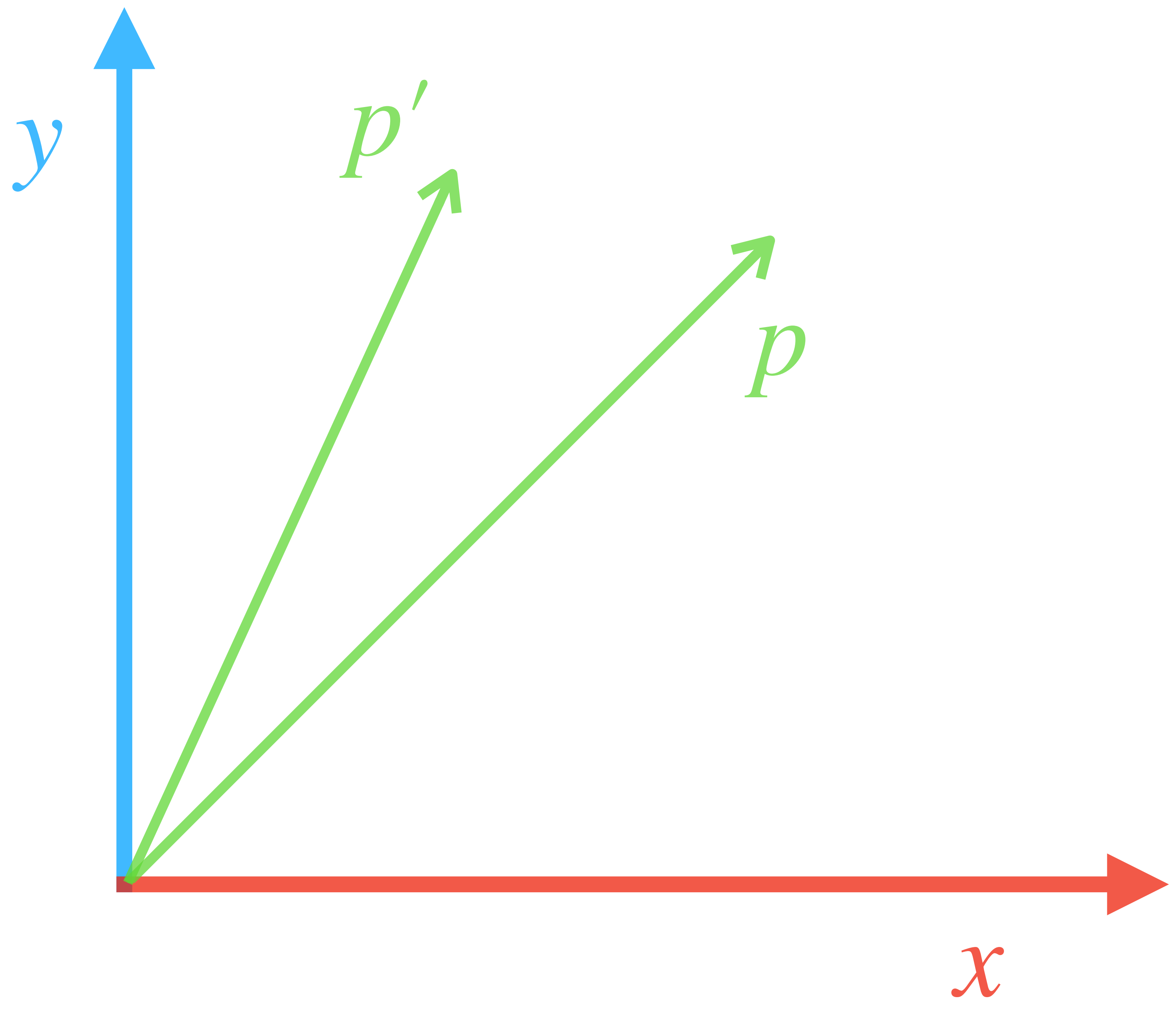


Escala



$$p' = sp$$

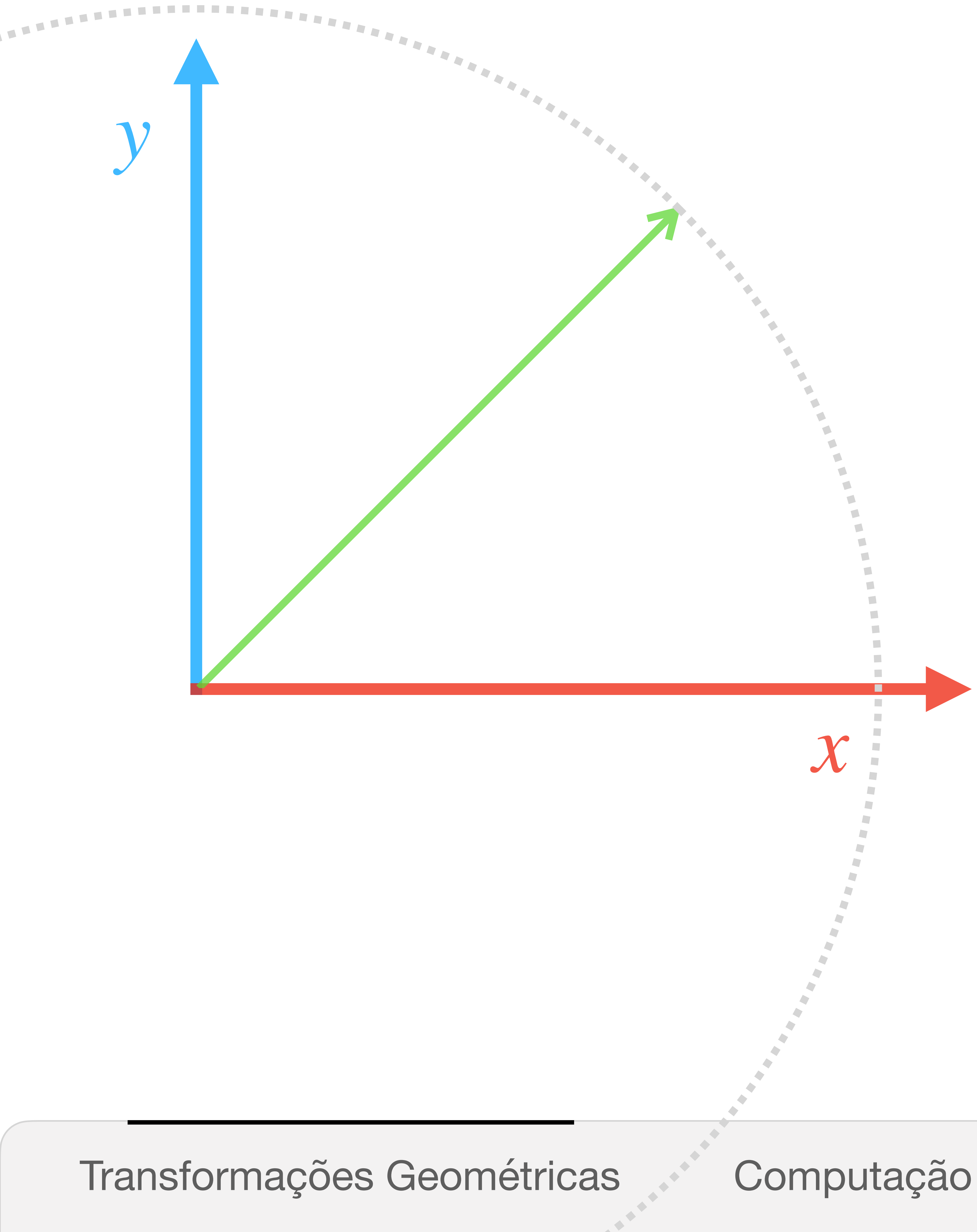
Escala



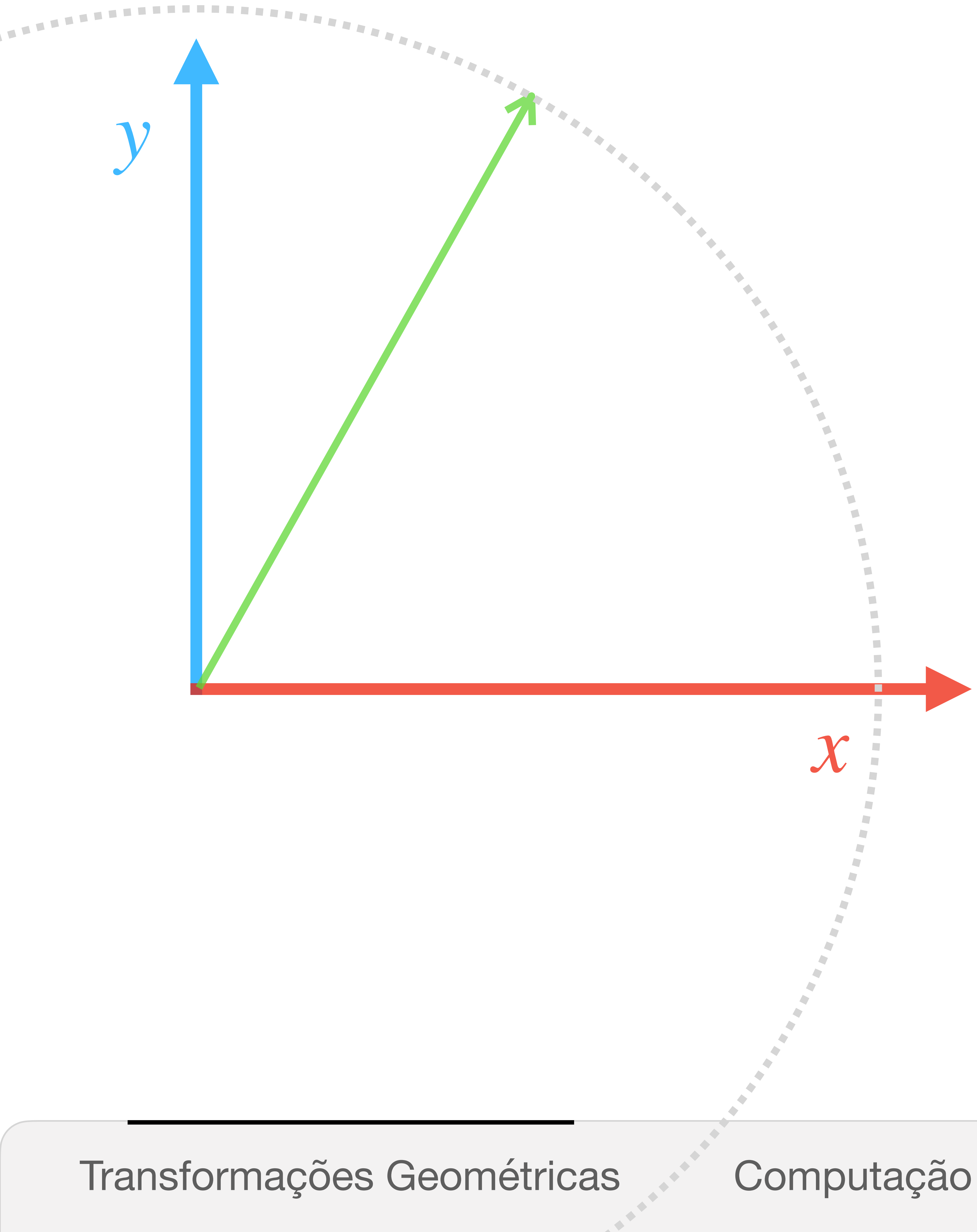
~~p sp~~

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x p_x \\ s_y p_y \end{bmatrix}$$

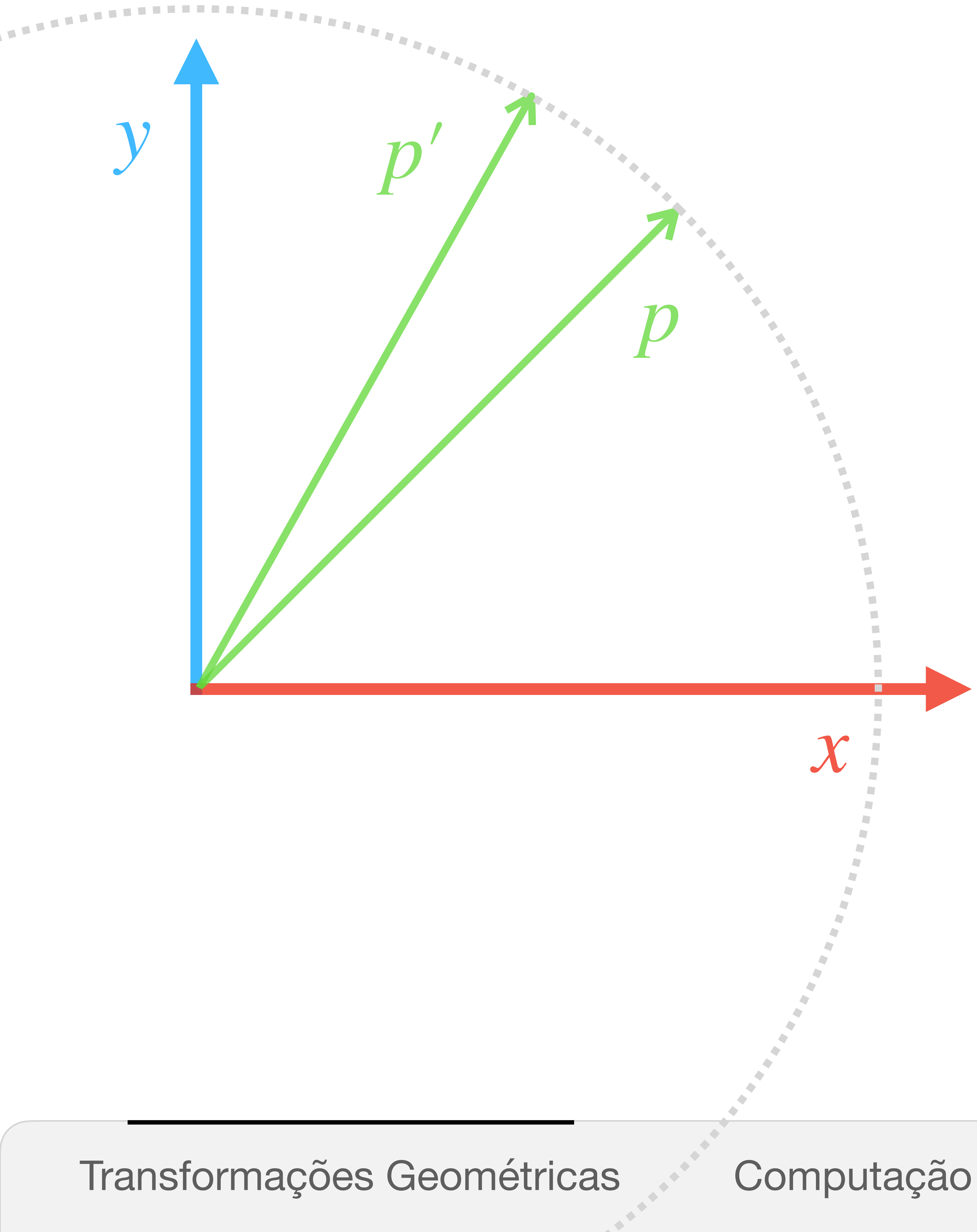
Rotação



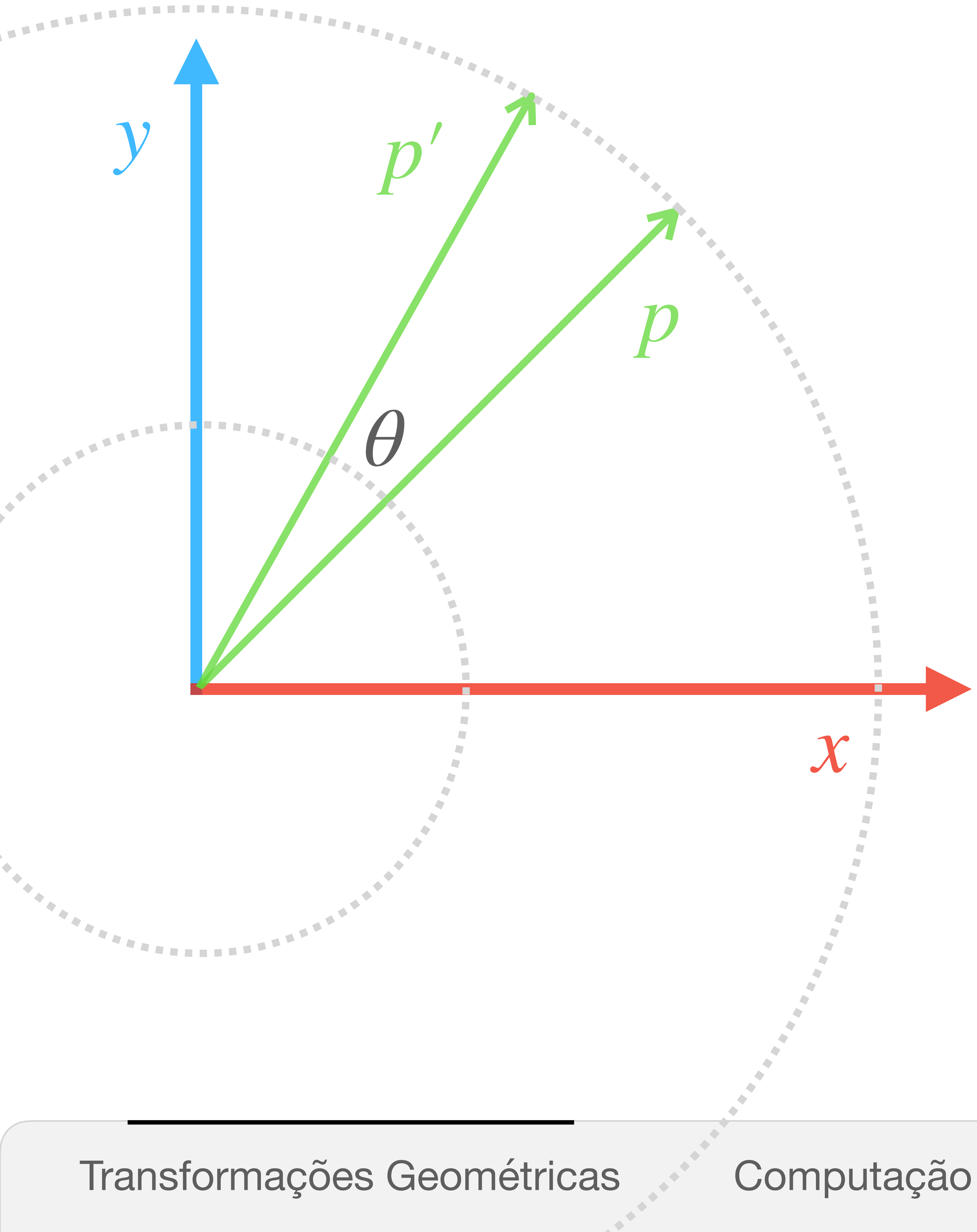
Rotação



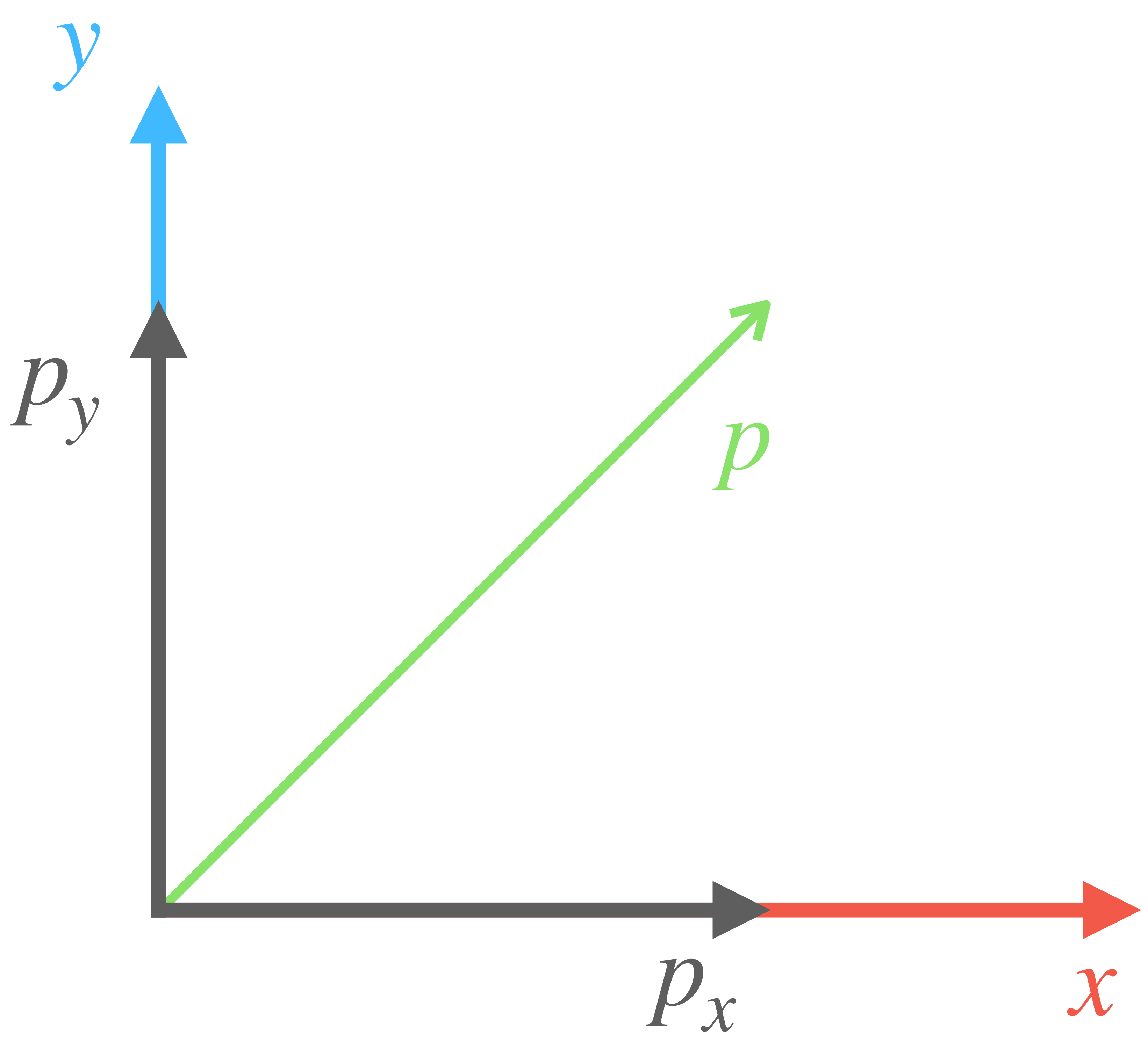
Rotação



Rotação

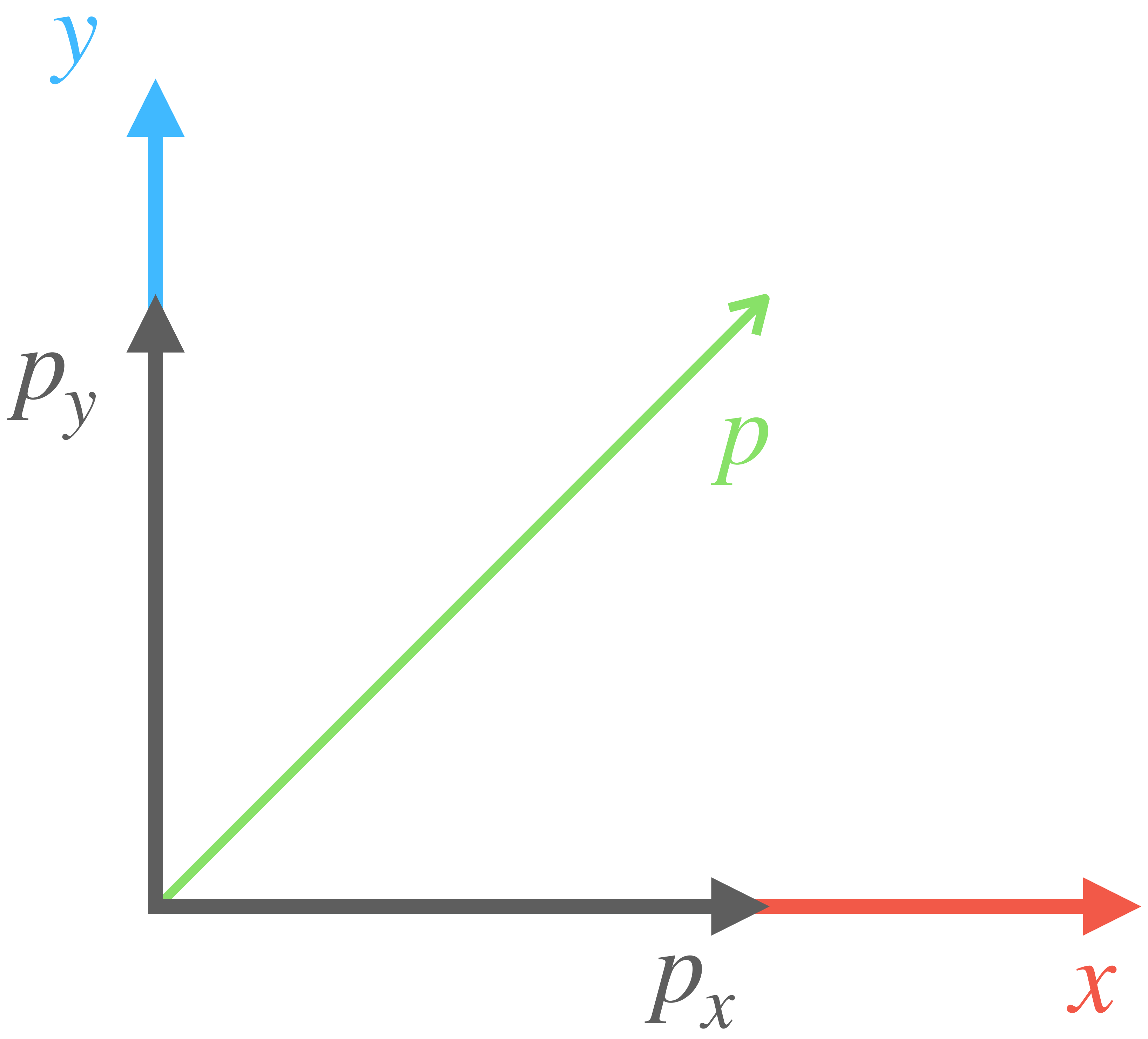


Rotação

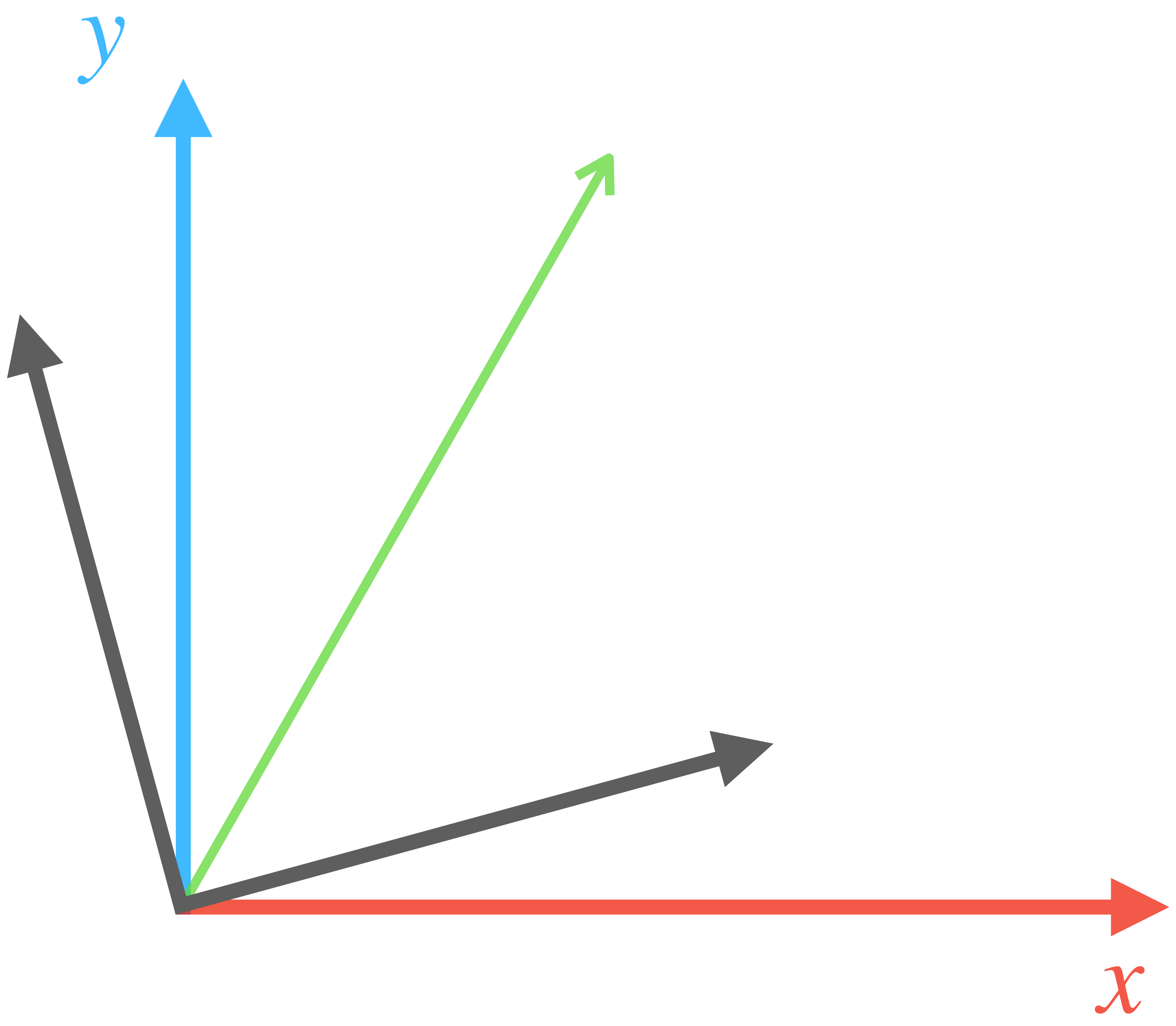


$$p = p_x x + p_y y$$

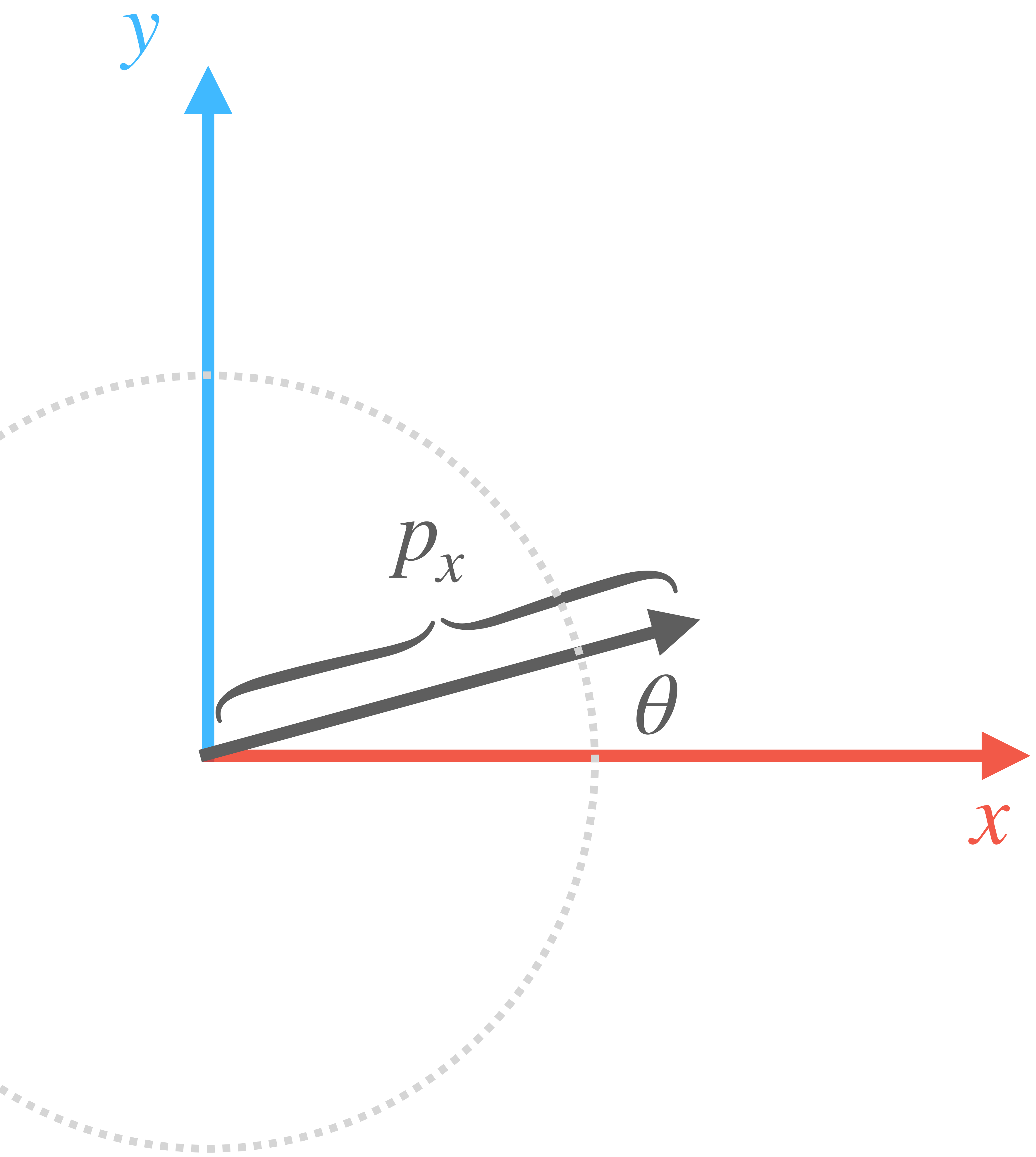
Rotação



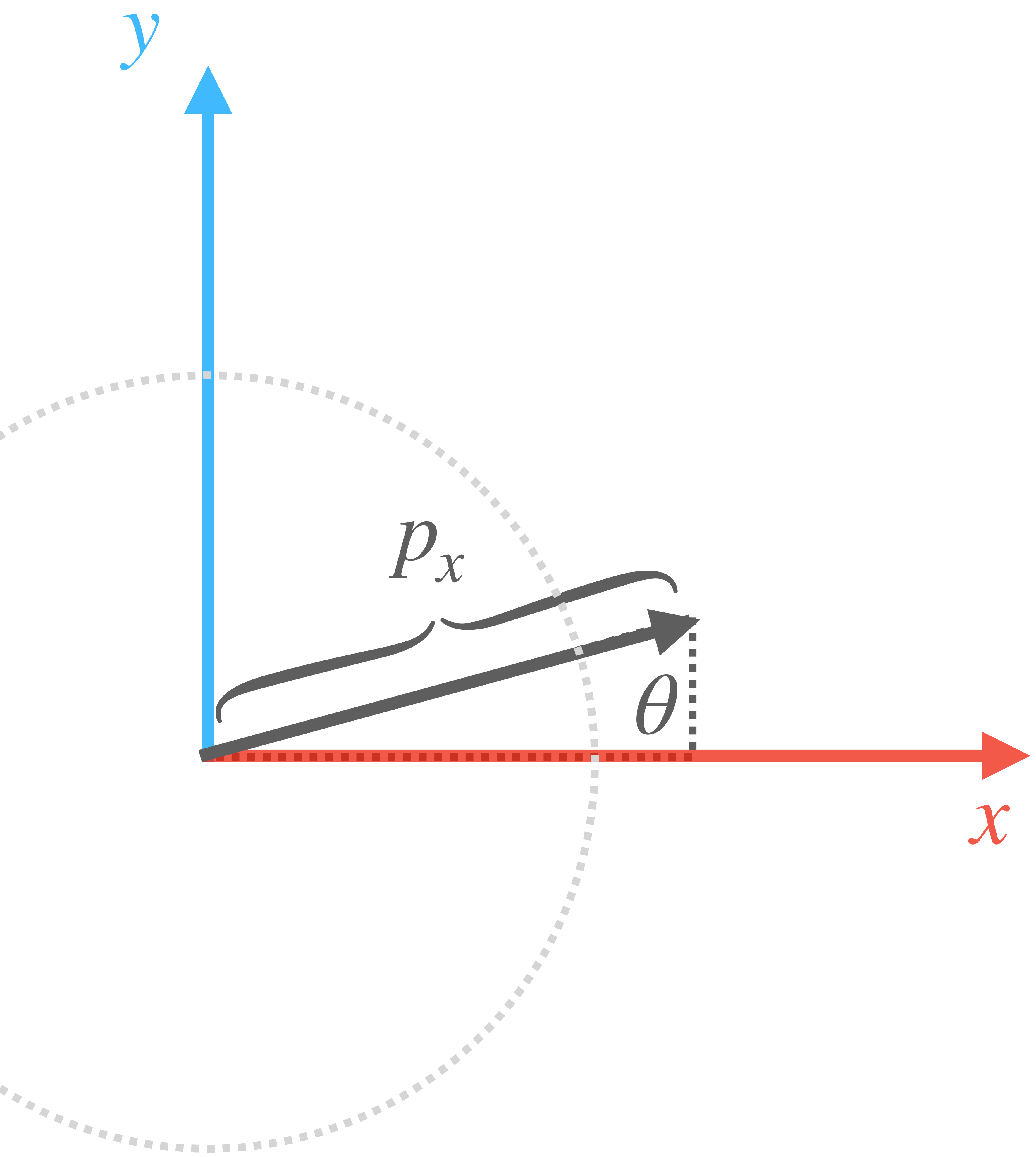
Rotação



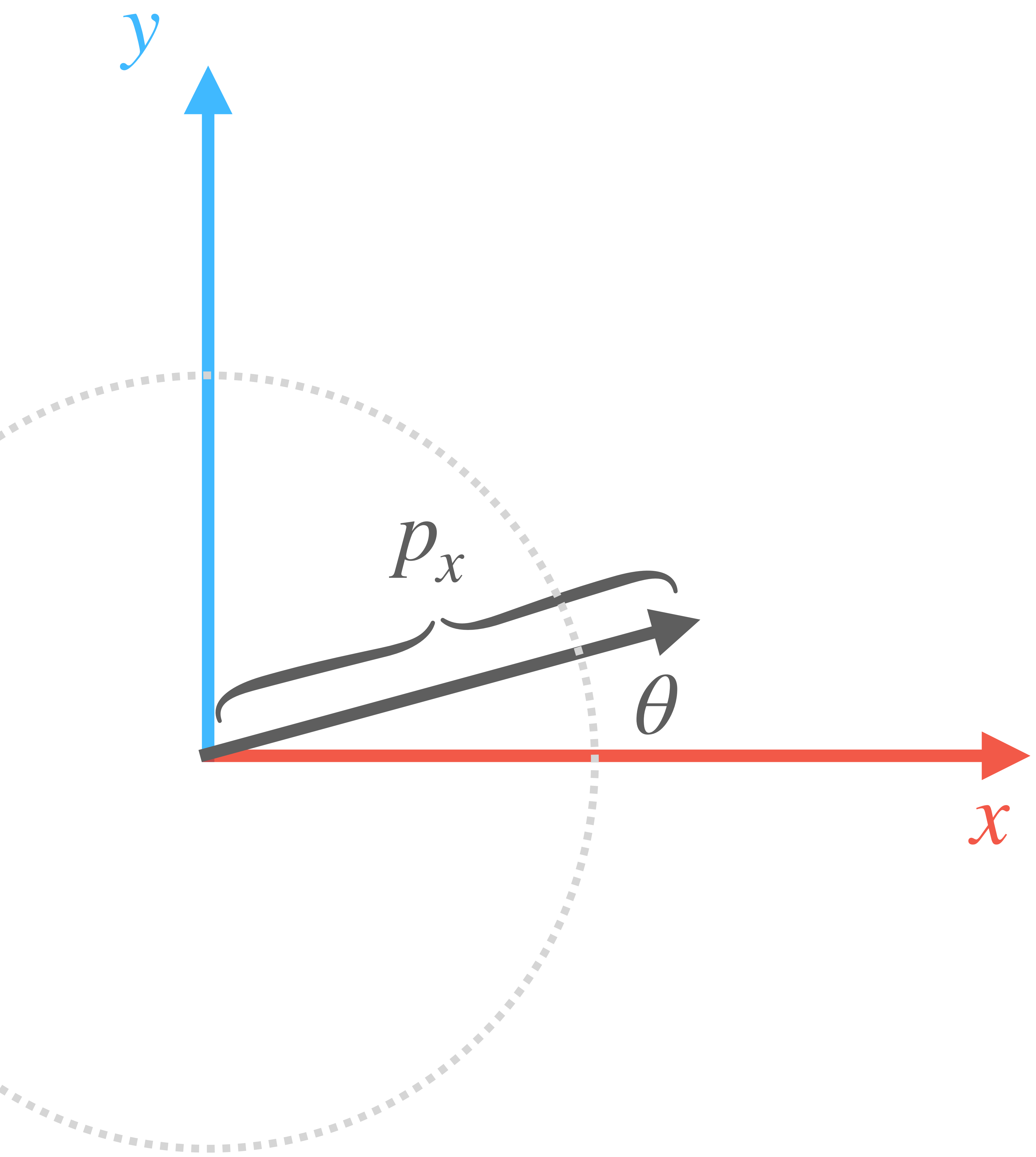
Rotação



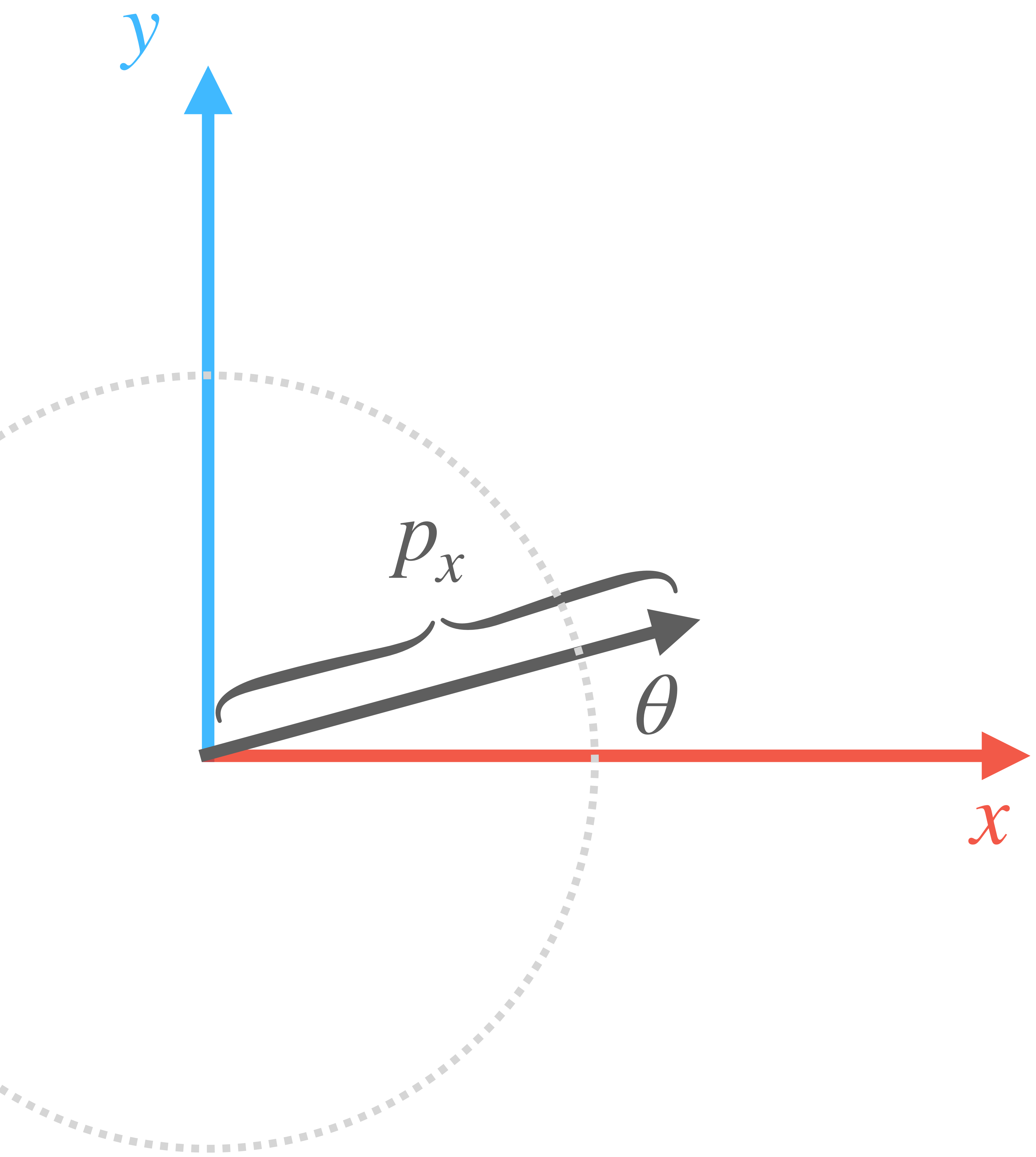
Rotação

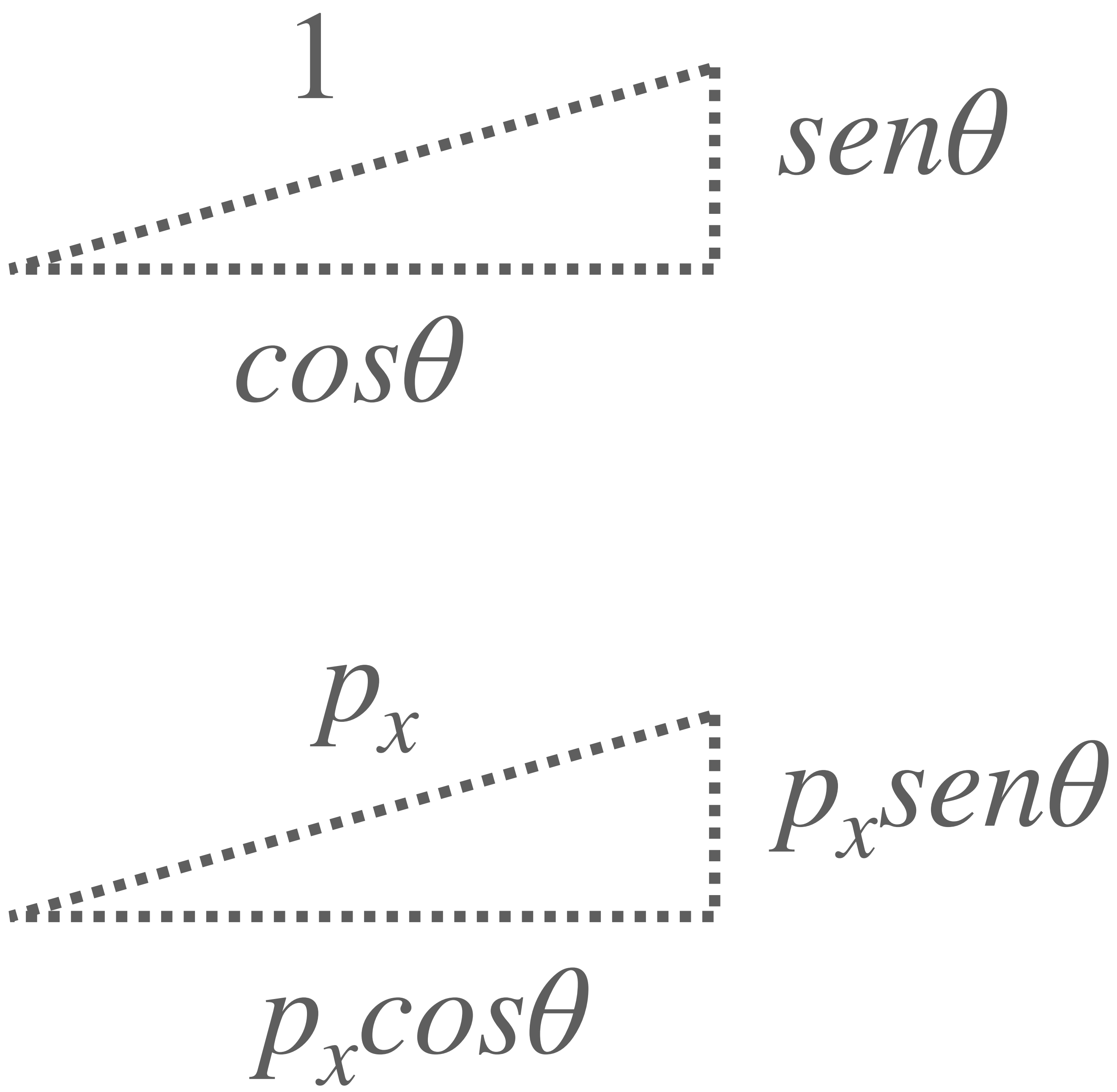


Rotação

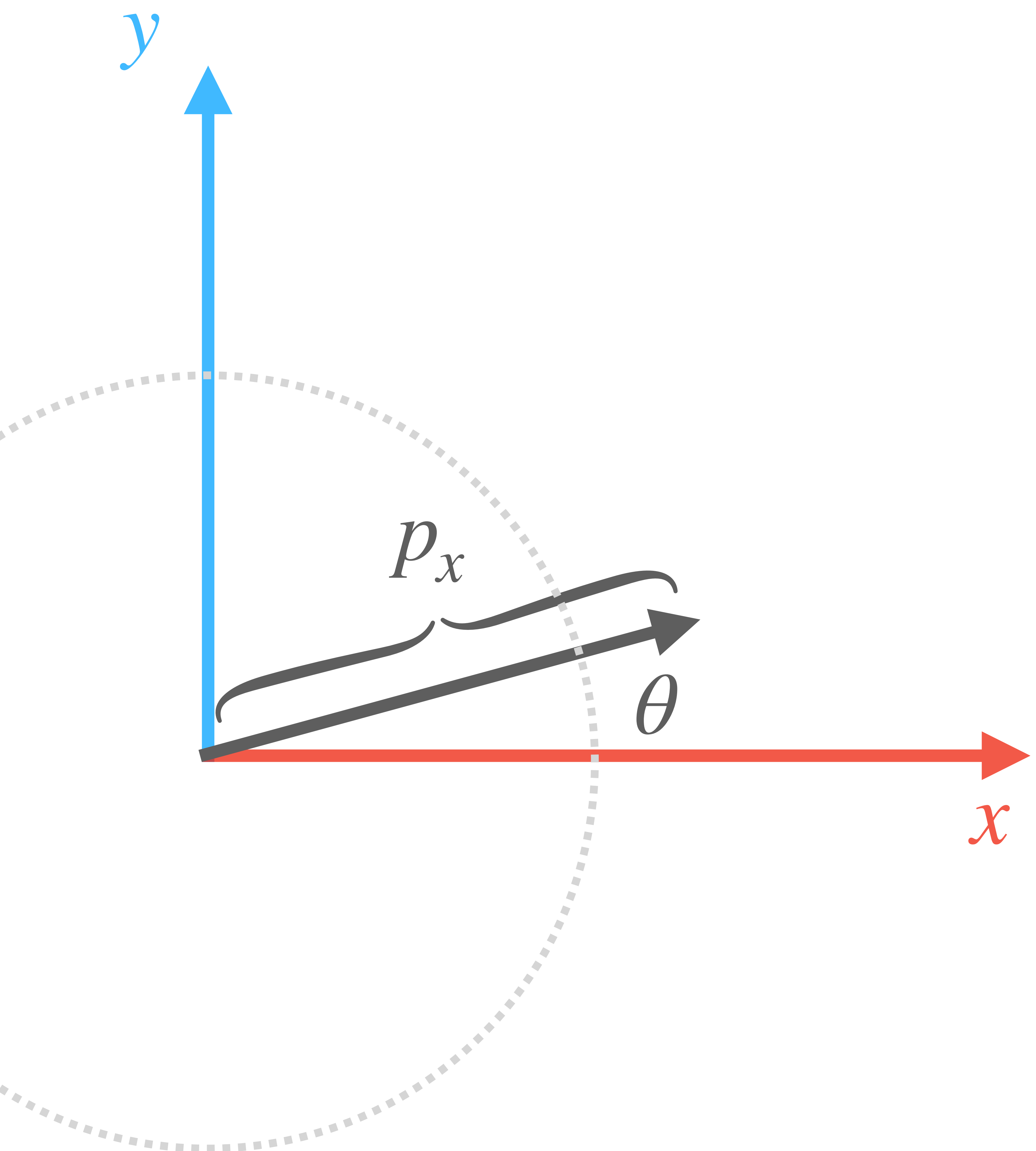


Rotação





Rotação

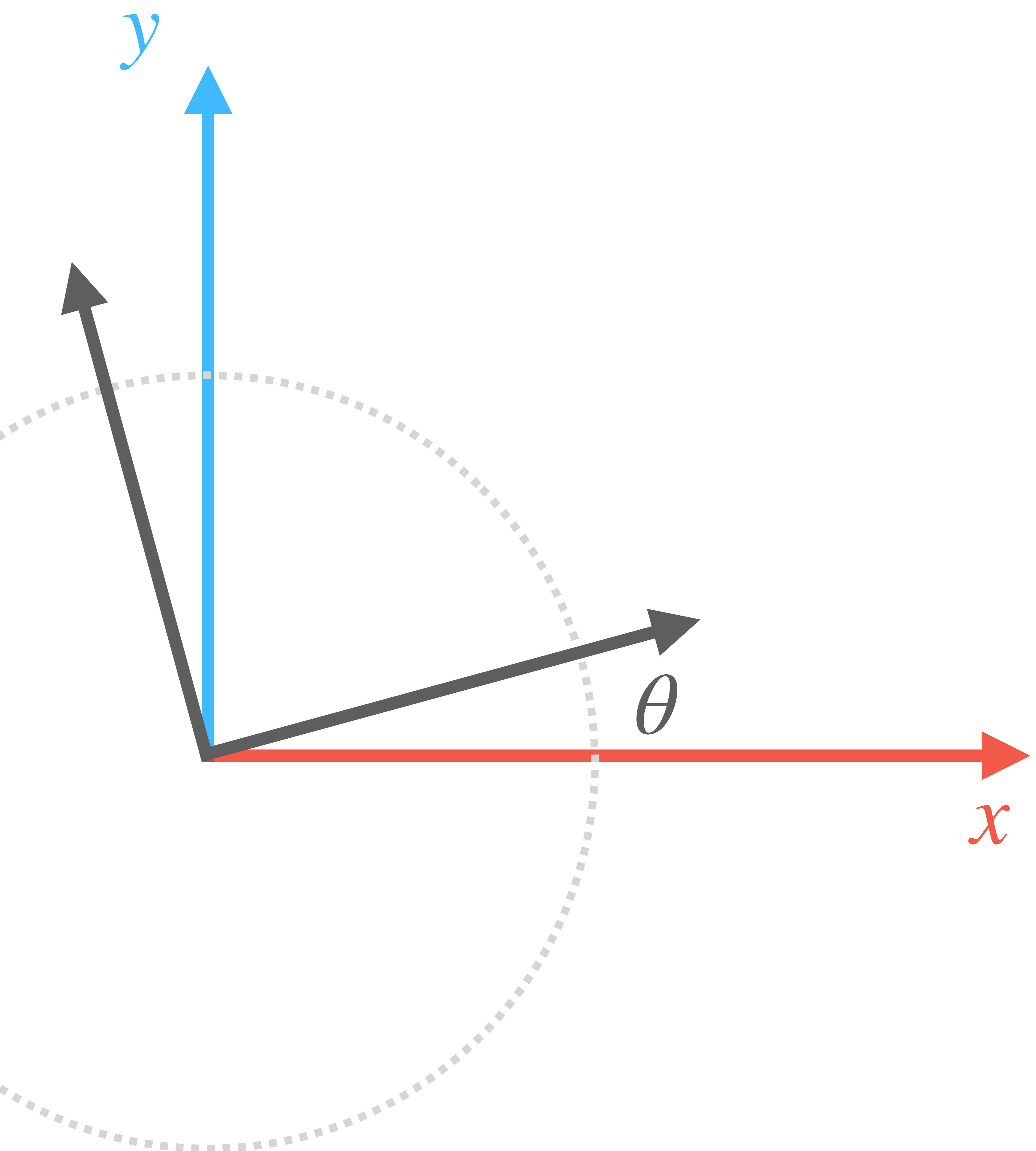


$$p_x \begin{bmatrix} cos\theta \\ sen\theta \end{bmatrix}$$

$$p'_x = p_x cos\theta + \ldots$$

$$p'_y = p_x sen\theta + \ldots$$

Rotação

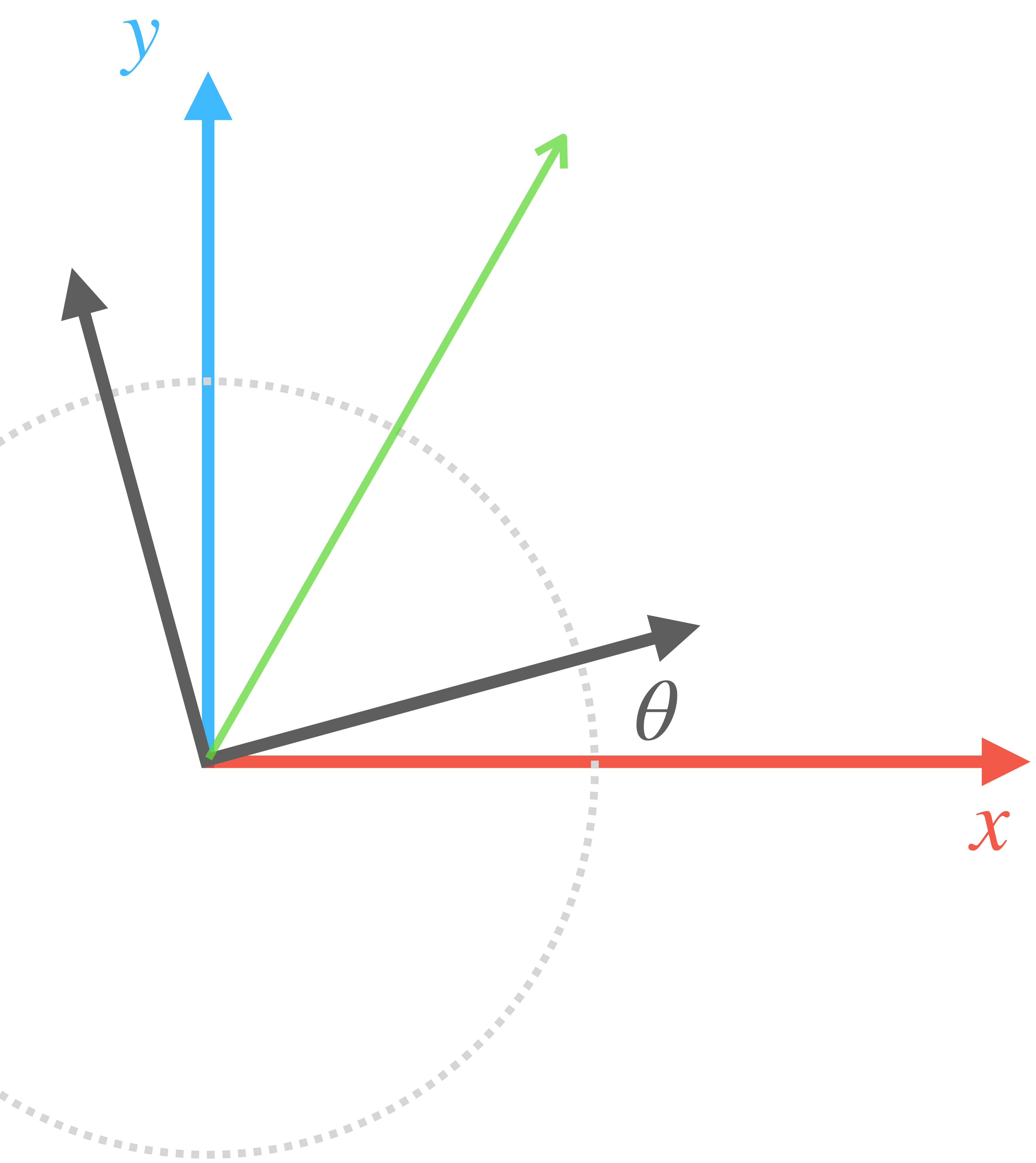


$$p_x \begin{bmatrix} cos\theta \\ sen\theta \end{bmatrix} \qquad p_y \begin{bmatrix} -sen\theta \\ cos\theta \end{bmatrix}$$

$$p'_x = p_x cos\theta + \ldots$$

$$p'_y = p_x sen\theta + \ldots$$

Rotação

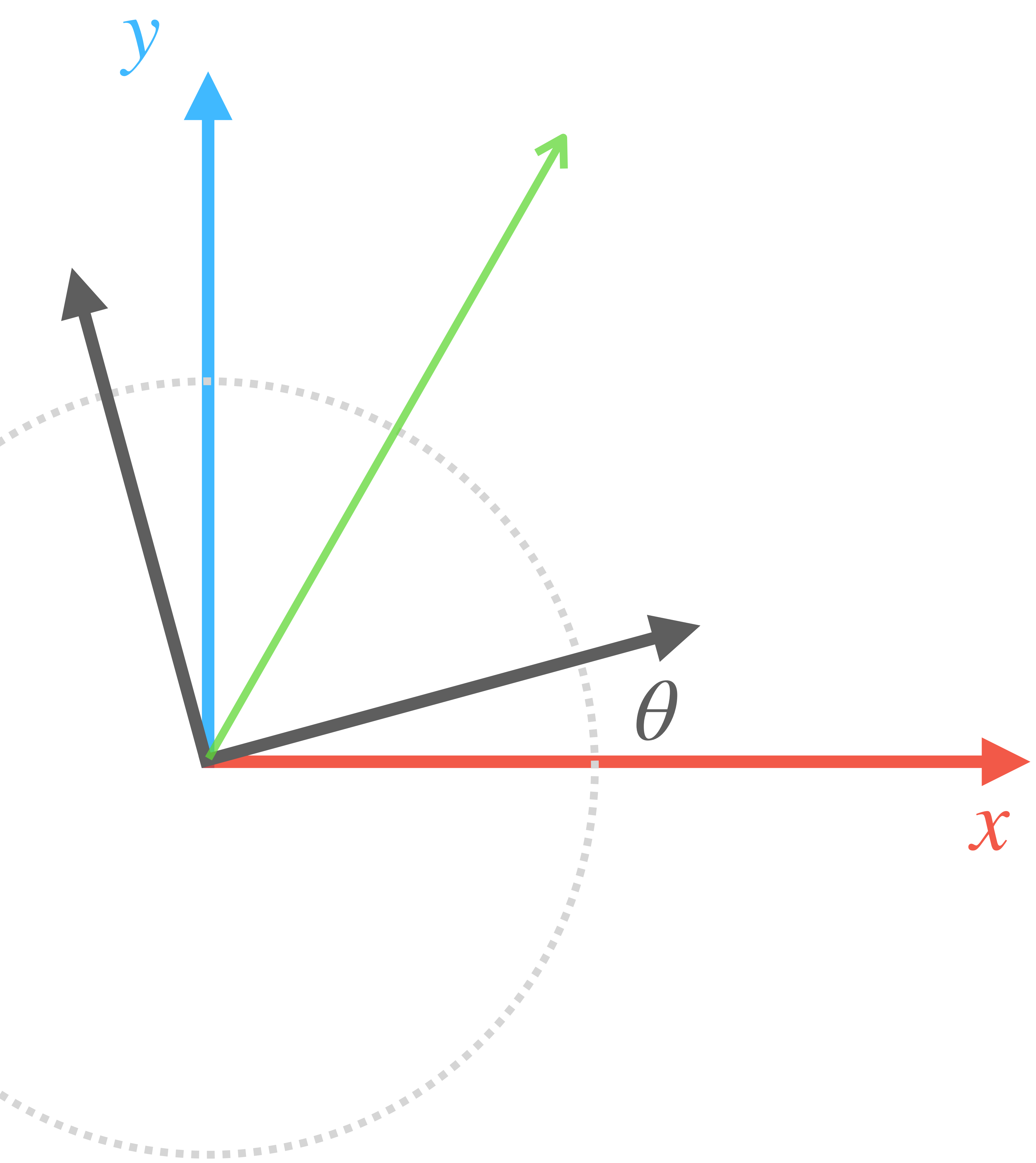


$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = p_x \begin{bmatrix} cos\theta \\ sen\theta \end{bmatrix} + p_y \begin{bmatrix} -sen\theta \\ cos\theta \end{bmatrix}$$

$$p'_x = p_x cos\theta - p_y sen\theta$$

$$p'_y = p_x sen\theta + p_y cos\theta$$

Rotação



Exemplo $p_x, p_y = 3{,}4 \quad \theta = \pi/2$

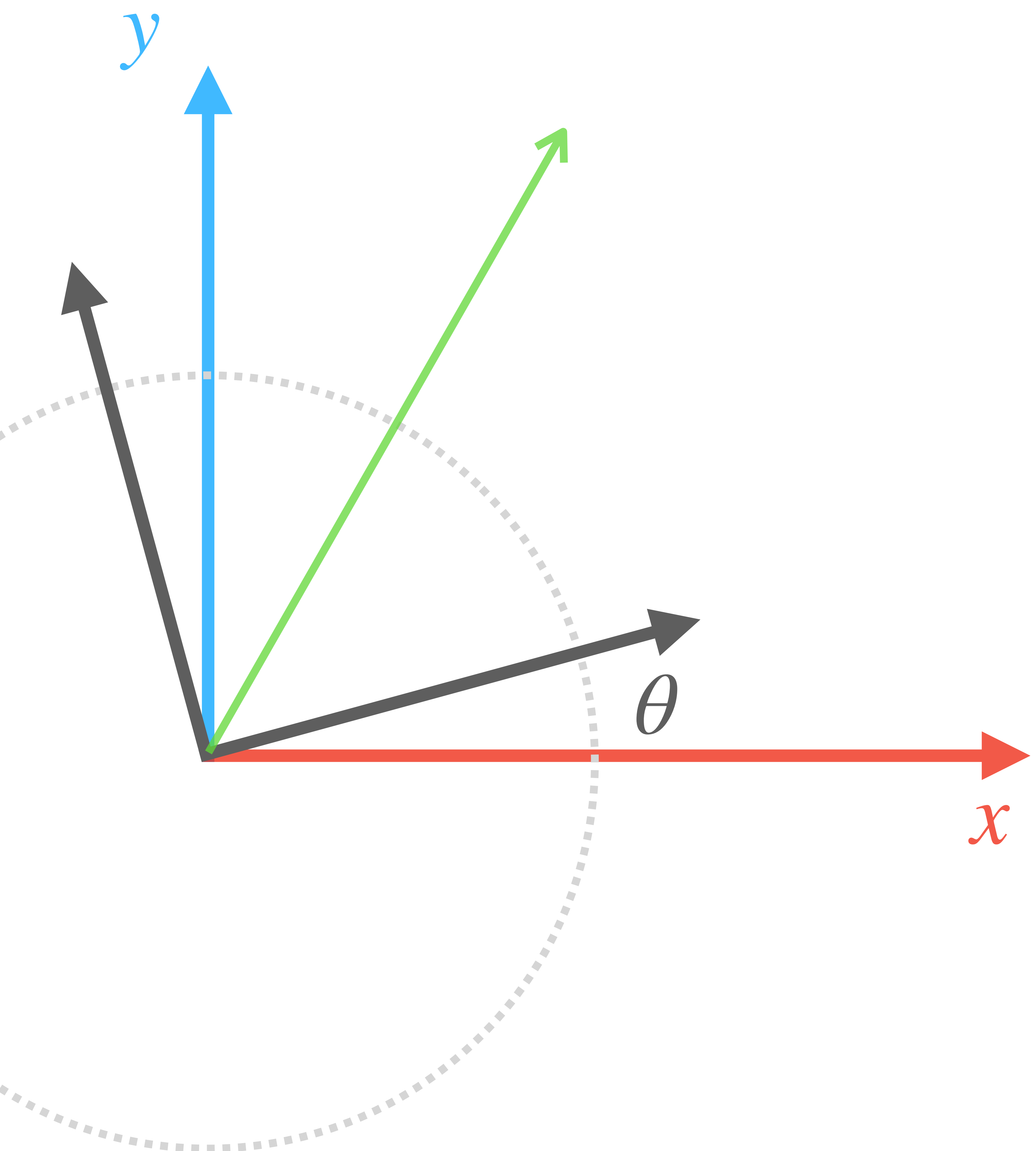
$$p'_x = p_x cos(\pi/2) - p_y sen(\pi/2)$$

$$p'_y = p_x sen(\pi/2) + p_y cos(\pi/2)$$

$$p'_x = 3 \times 0 - 4 \times 1 = -4$$

$$p'_y = 3 \times 1 + 4 \times 0 = 3$$

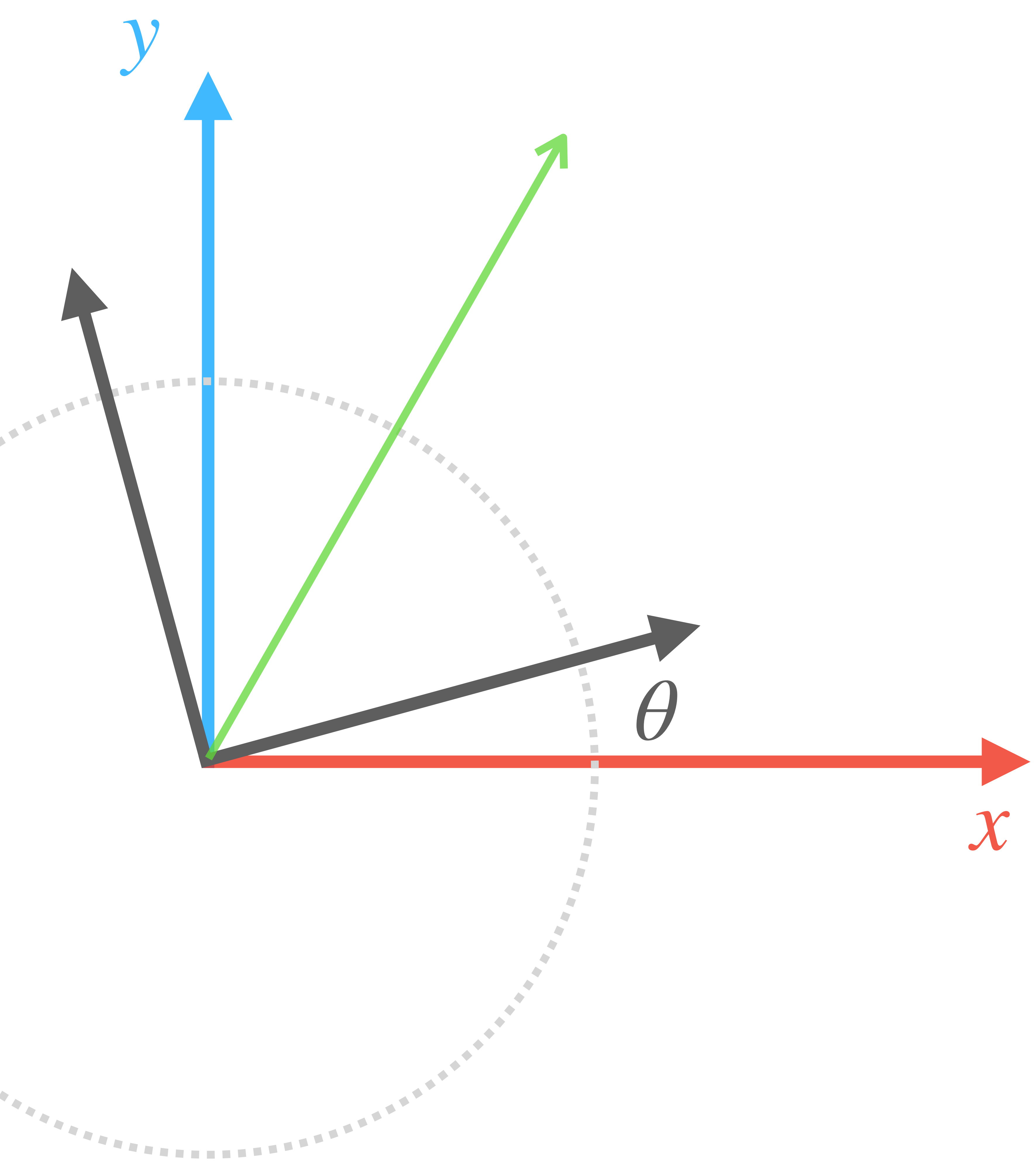
Rotação



$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = p_x \begin{bmatrix} cos\theta \\ sen\theta \end{bmatrix} + p_y \begin{bmatrix} -sen\theta \\ cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\theta & -sin\theta \\ sin\theta & cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix}$$

Rotação



$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = p_x \begin{bmatrix} cos\theta \\ sin\theta \end{bmatrix} + p_y \begin{bmatrix} -sin\theta \\ cos\theta \end{bmatrix}$$

Rotação Sentido Anti-horário

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\theta & -sin\theta \\ sin\theta & cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix}$$

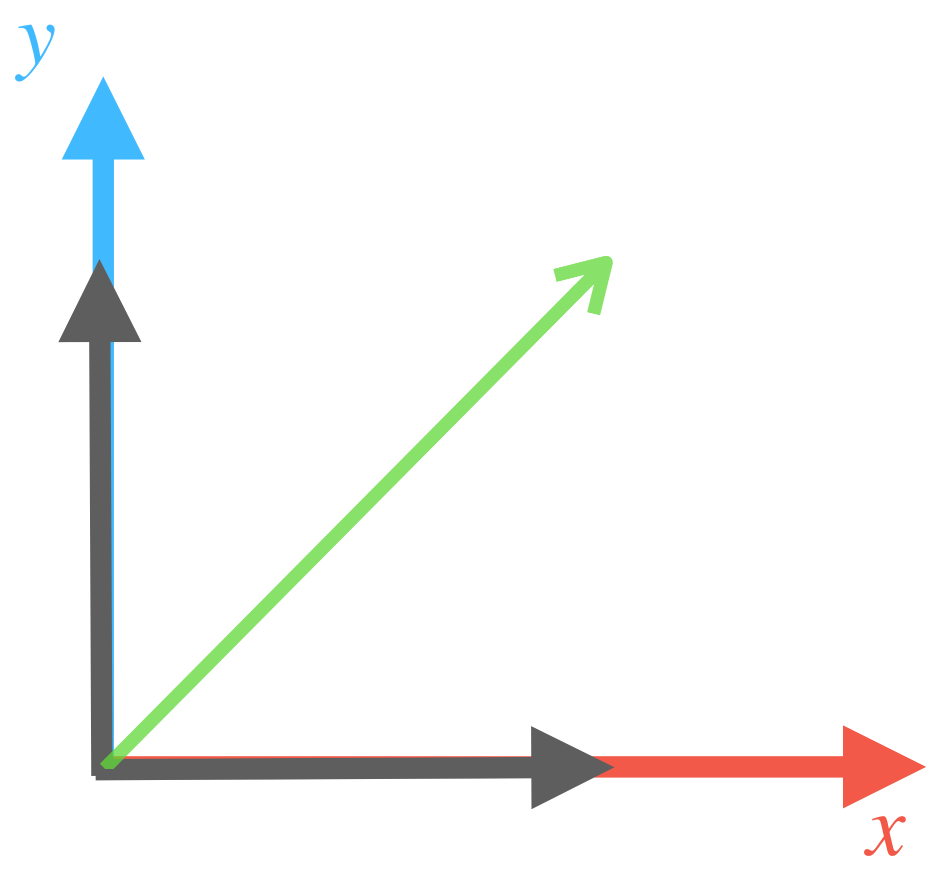
Rotação Sentido Horário

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\theta & sin\theta \\ -sin\theta & cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix}$$

Rotação

Matrizes de rotação são ***ortogonais***

$$R = \begin{bmatrix} cos\theta & sin\theta \\ -sin\theta & cos\theta \end{bmatrix}$$

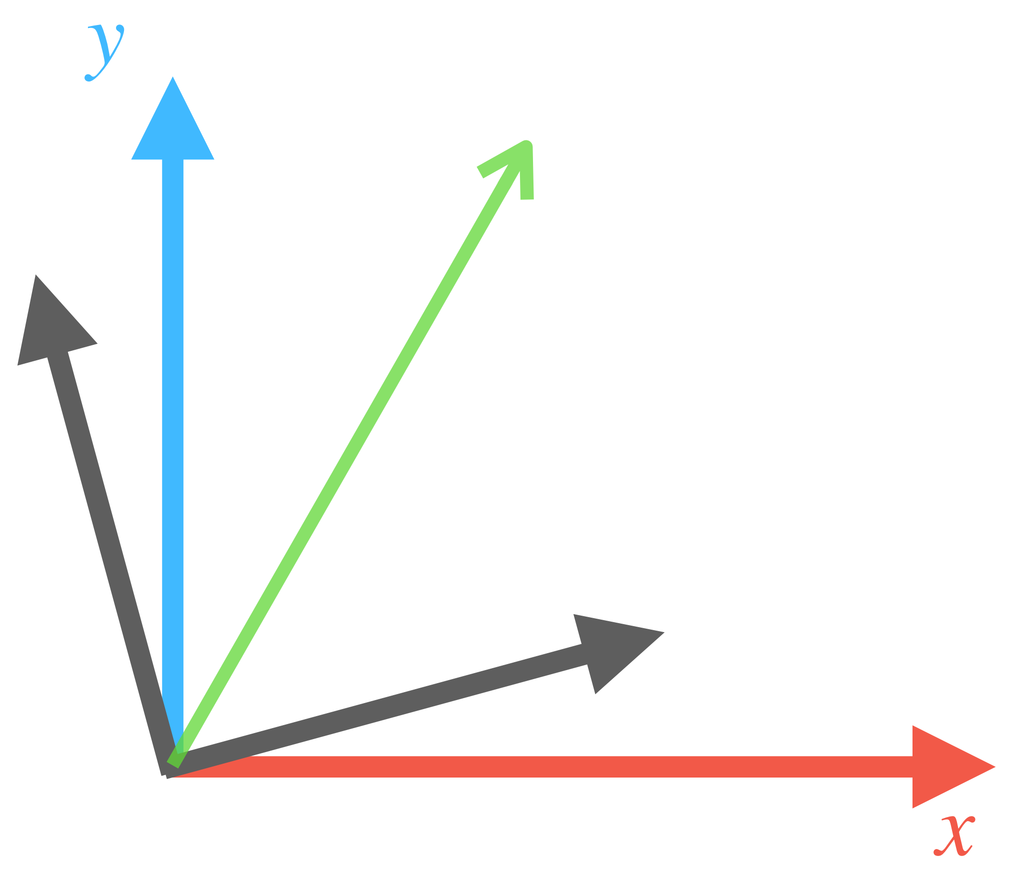


$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = p_x \begin{bmatrix} cos\theta \\ sin\theta \end{bmatrix} + p_y \begin{bmatrix} -sin\theta \\ cos\theta \end{bmatrix}$$

Rotação

Matrizes de rotação são ***ortogonais***

$$R = \begin{bmatrix} cos\theta & sin\theta \\ -sin\theta & cos\theta \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = p_x \begin{bmatrix} cos\theta \\ sin\theta \end{bmatrix} + p_y \begin{bmatrix} -sin\theta \\ cos\theta \end{bmatrix}$$

Rotação

Matrizes de rotação são ***ortogonais***

$$R = \begin{bmatrix} cos\theta & sin\theta \\ -sin\theta & cos\theta \end{bmatrix}$$

$$R^T = R^{-1} = \begin{bmatrix} cos\theta & -sin\theta \\ sin\theta & cos\theta \end{bmatrix}$$

$$RR^T = R^T R = I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotação

Matrizes de rotação são ***ortogonais***

$$R = \begin{bmatrix} cos\theta & sin\theta \\ -sin\theta & cos\theta \end{bmatrix}$$

$$R^T = R^{-1} = \begin{bmatrix} cos\theta & -sin\theta \\ sin\theta & cos\theta \end{bmatrix}$$

$$RR^T = R^T R = I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Toda matriz ortogonal é uma matriz de rotação?

Rotação

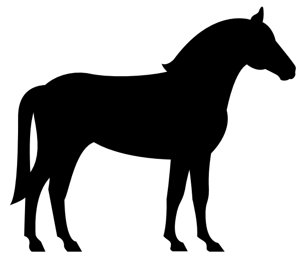
Matrizes de rotação são ***ortogonais***

$$R = \begin{bmatrix} cos\theta & sin\theta \\ -sin\theta & cos\theta \end{bmatrix}$$

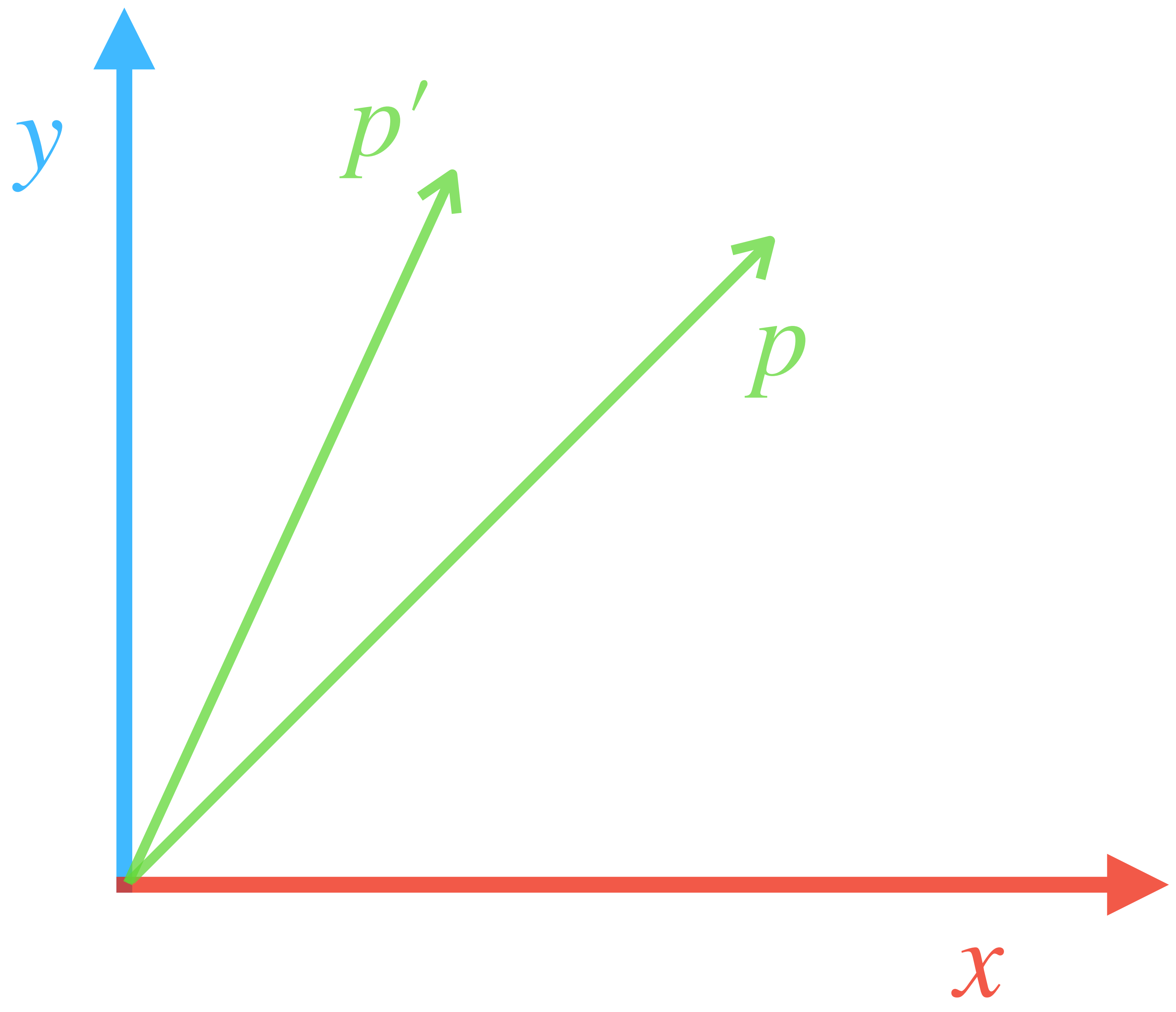
$$R^T = R^{-1} = \begin{bmatrix} cos\theta & -sin\theta \\ sin\theta & cos\theta \end{bmatrix}$$

$$RR^T = R^TR = I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Toda matriz ortogonal é uma matriz de rotação? Quase!

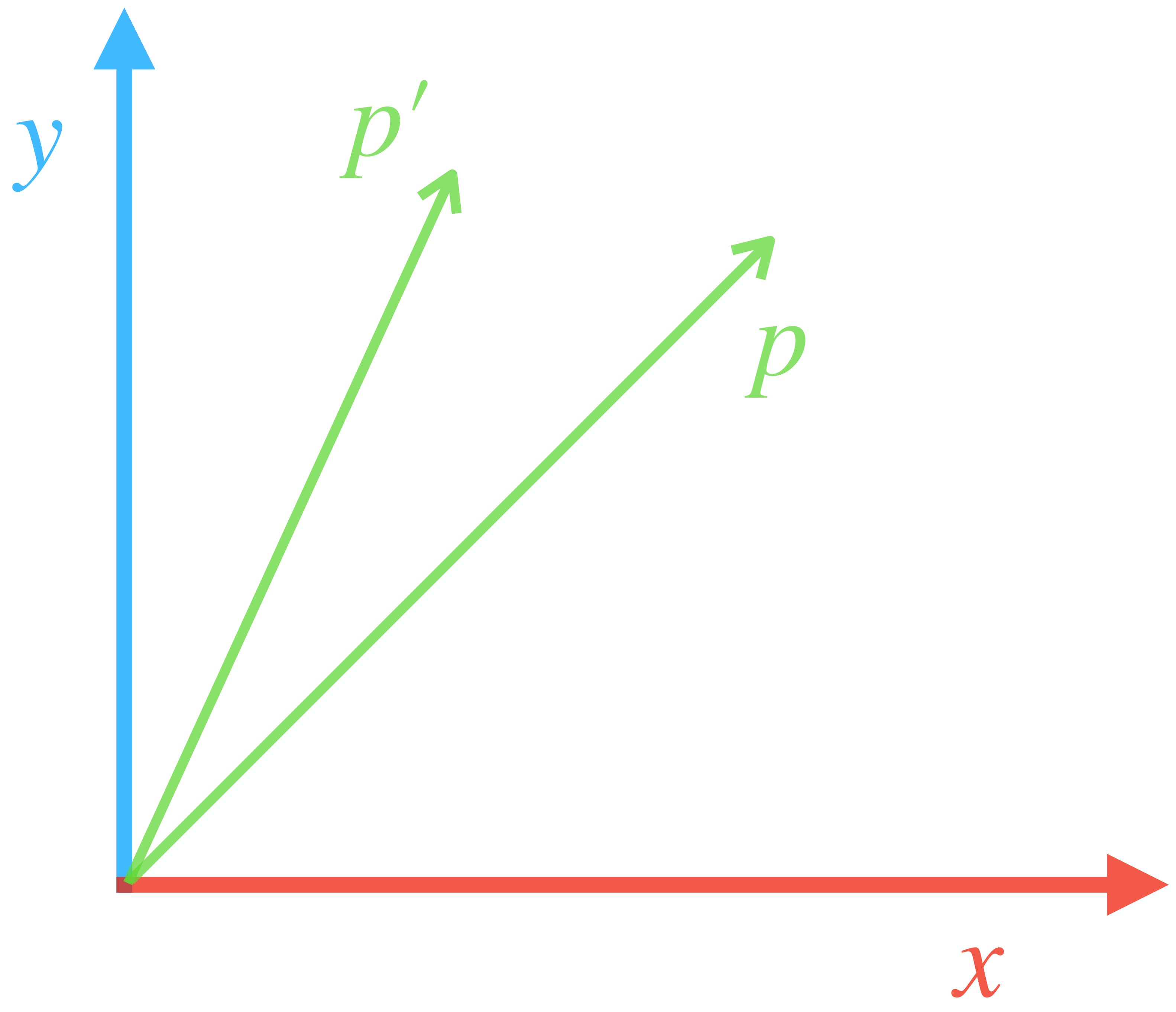


Escala



$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x p_x \\ s_y p_y \end{bmatrix}$$

Escala



$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x p_x \\ s_y p_y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix}$$

Escala

> Matrizes de escala são ***diagonais***

$$S = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix}$$

Escala

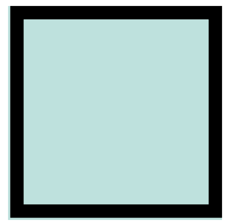
Matrizes de escala são ***diagonais***

$$S = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix}$$

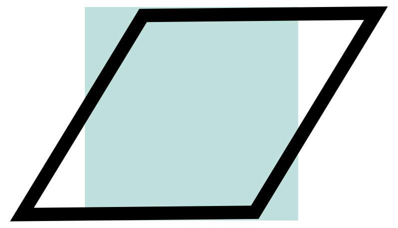
Por que essa representação é interessante?

Skew

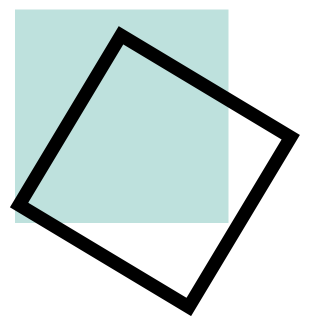
R_1



Skew

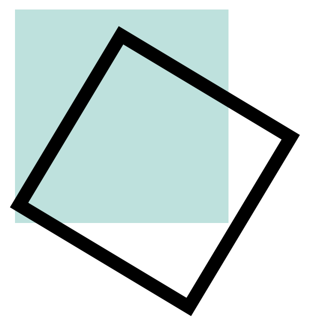


R_1

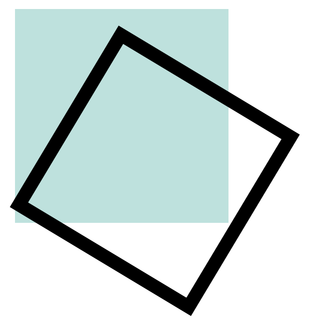


Skew

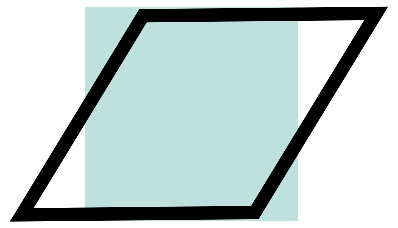
R_1



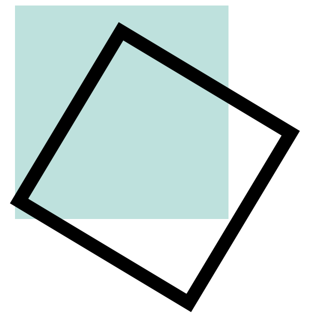
S



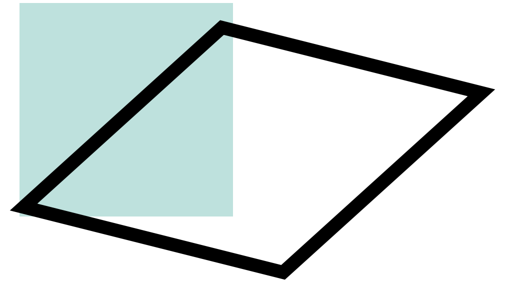
Skew



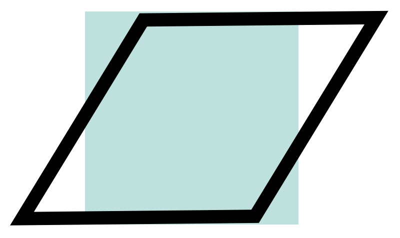
R_1



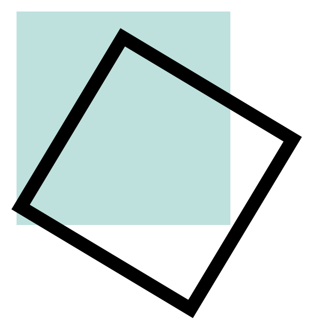
S



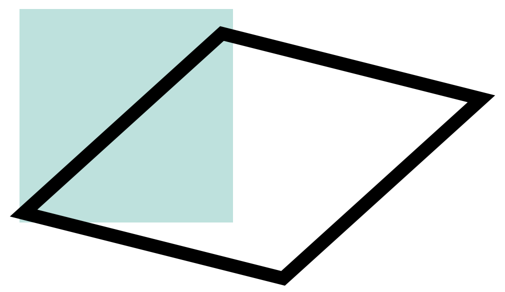
Skew



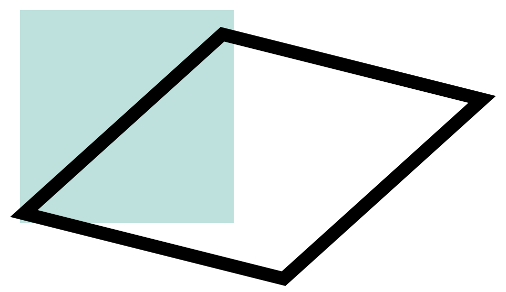
R_1



S

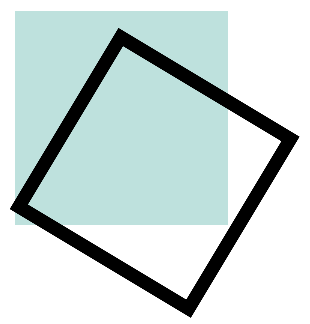


R_2

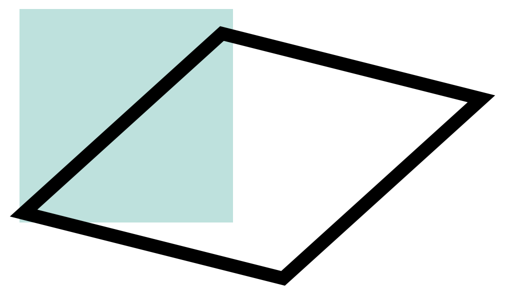


Skew

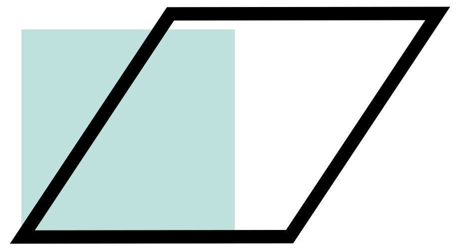
R_1



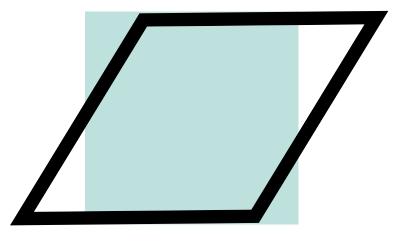
S



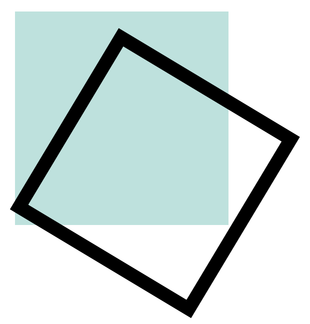
R_2



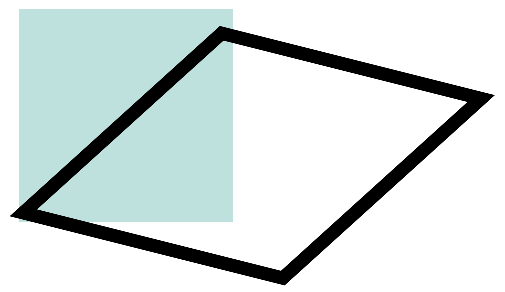
Skew



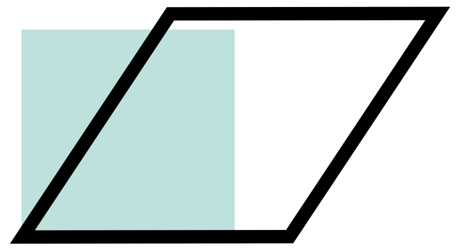
R_1



S

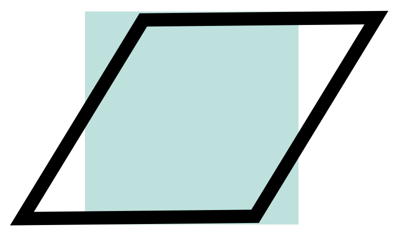


R_2

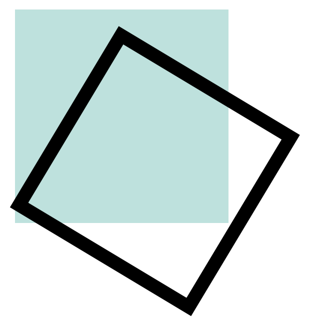


$$p' = R_2 S R_1 p$$

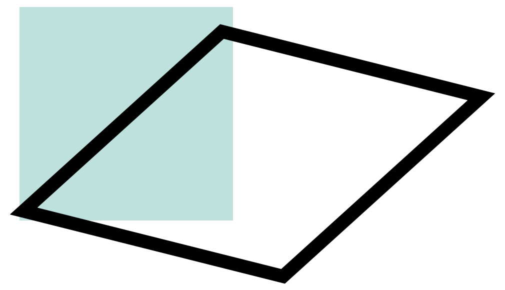
Skew



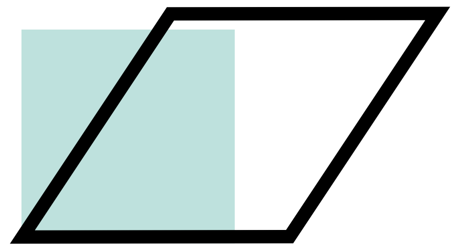
R_1



S



R_2



$$p' = \underbrace{R_2 S R_1}_{M} p$$

Séries de Rotação e Escala

$$
\begin{aligned}
p' &= \underbrace{RSRSRSRSRS}p \\
p' &= \quad M p
\end{aligned}
$$

Qualquer Matriz 2x2

Decomposição em valores singulares (SVD)

$$M = U \; S \; V^T$$

- V^T → Ortogonal (Rotação)
- S → Diagonal (Escala)
- U → Ortogonal (Rotação)

Séries de Rotação e Escala

$$p' = \underbrace{RSRSRSRSRS}p$$

$$p' = \quad Mp$$

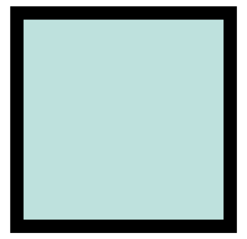
> Translação?

$$p' = Mp + t$$

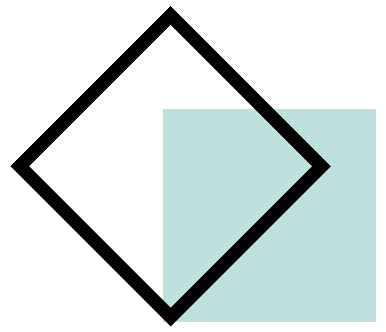
$$p' = M_2(M_1 p + t_1) \ + t_2$$

> Por que alguém gostaria de fazer diversas rotações e translações seguidas uma da outra?

Rotação e Translação

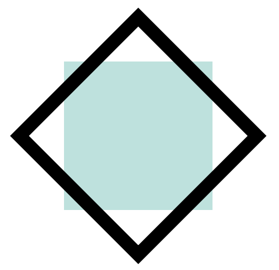


Rotação e Translação

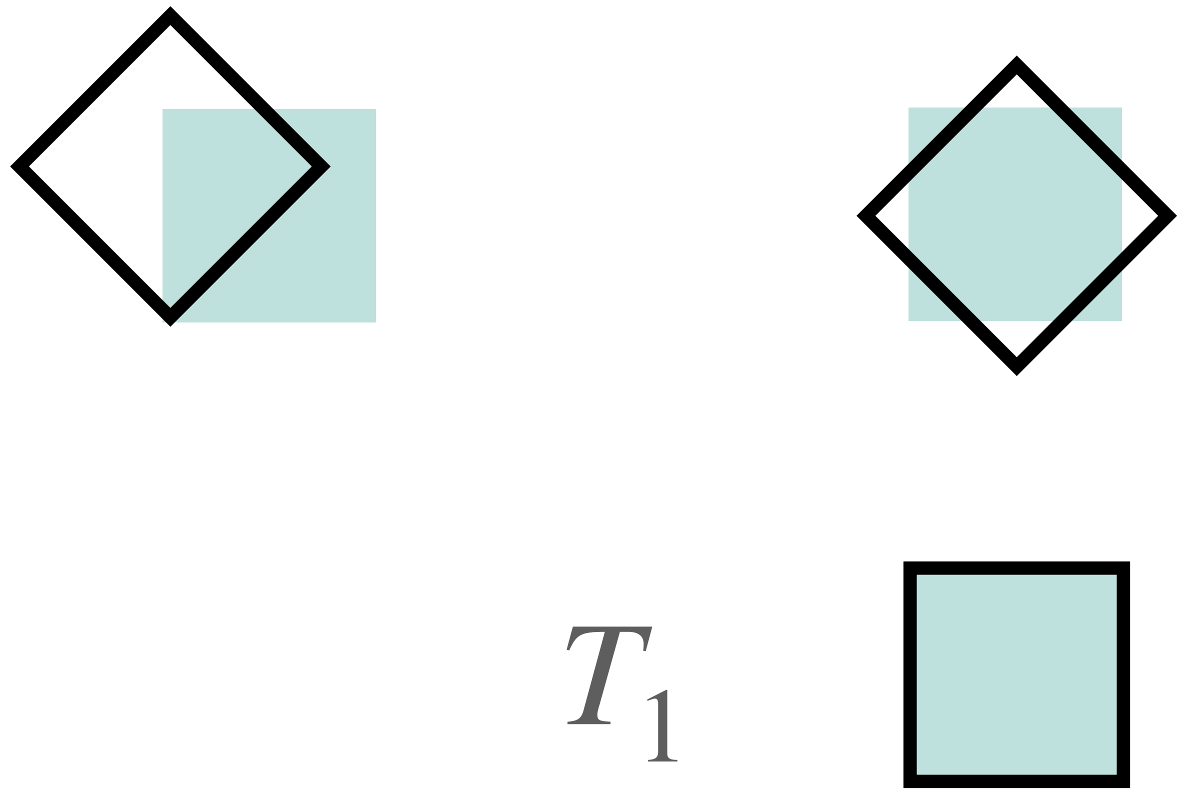


Rotação e Translação

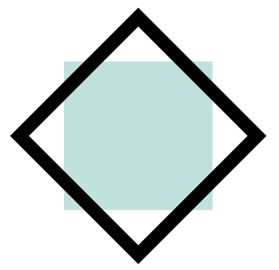
Rotação e Translação

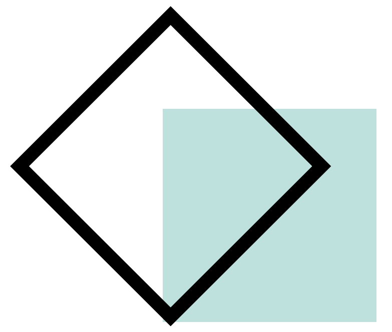


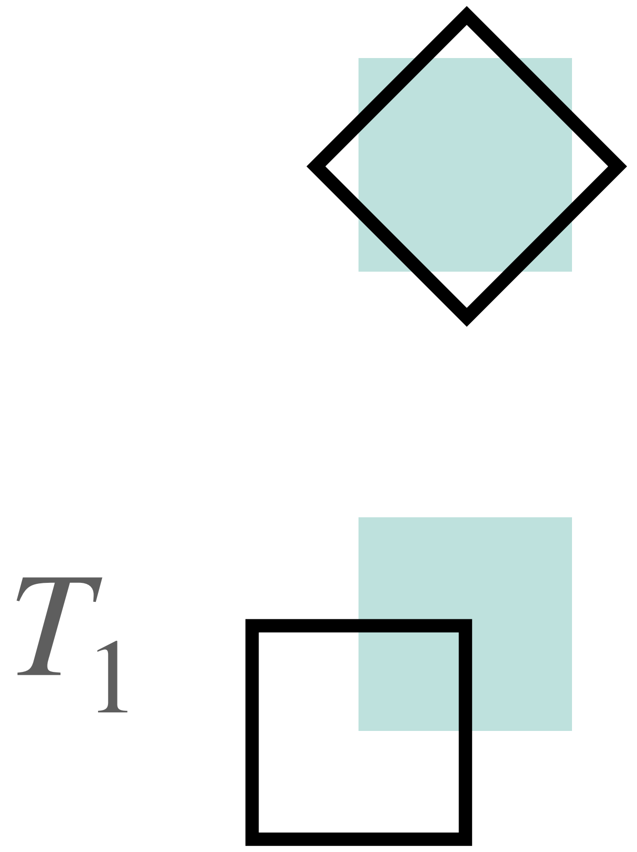
Rotação e Translação



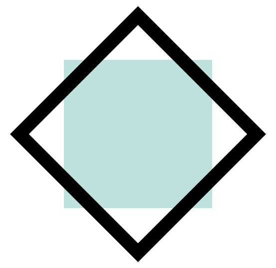
Rotação e Translação

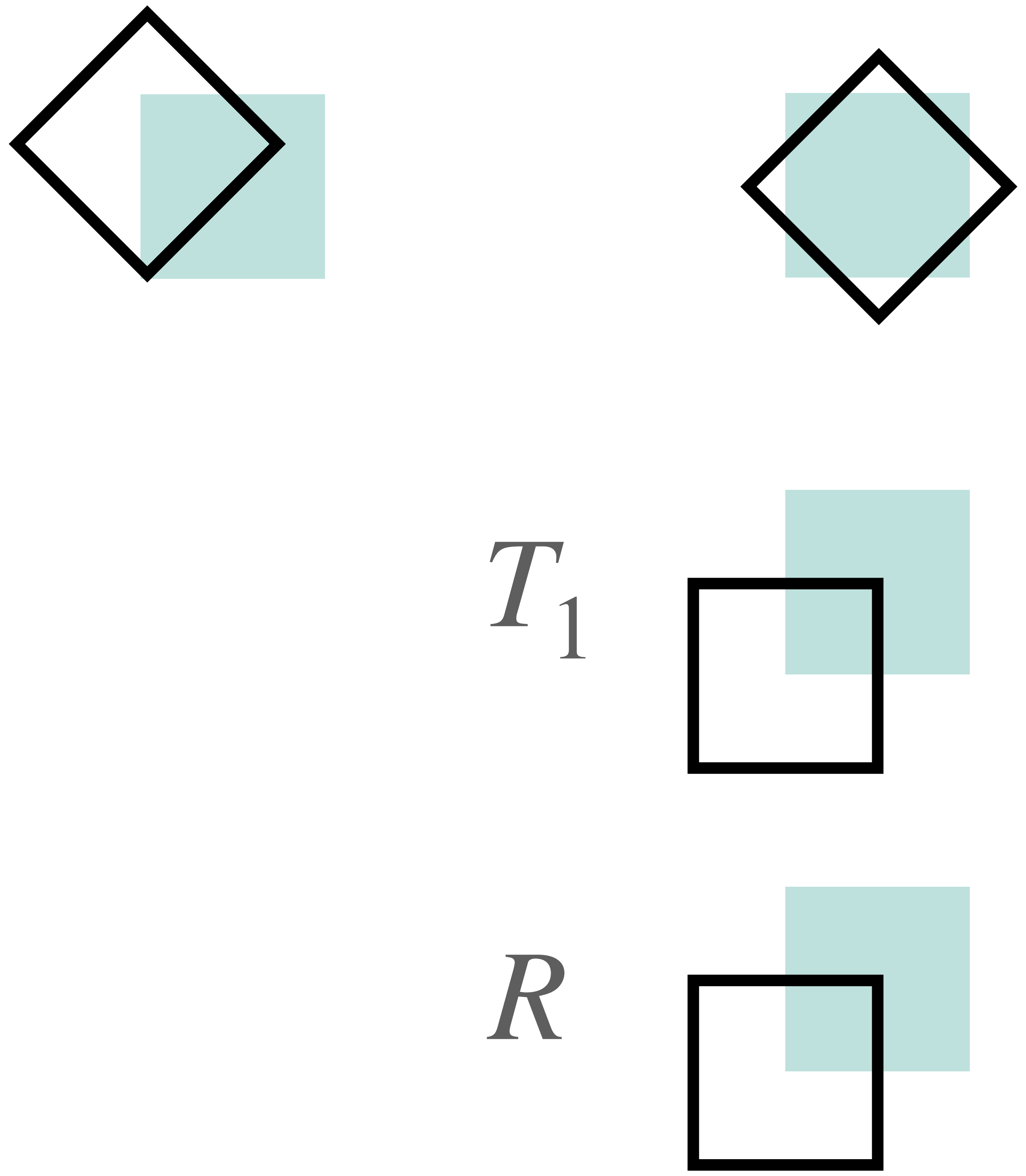




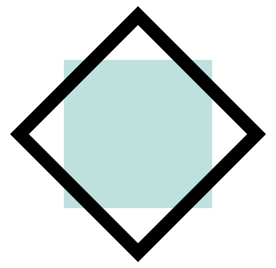


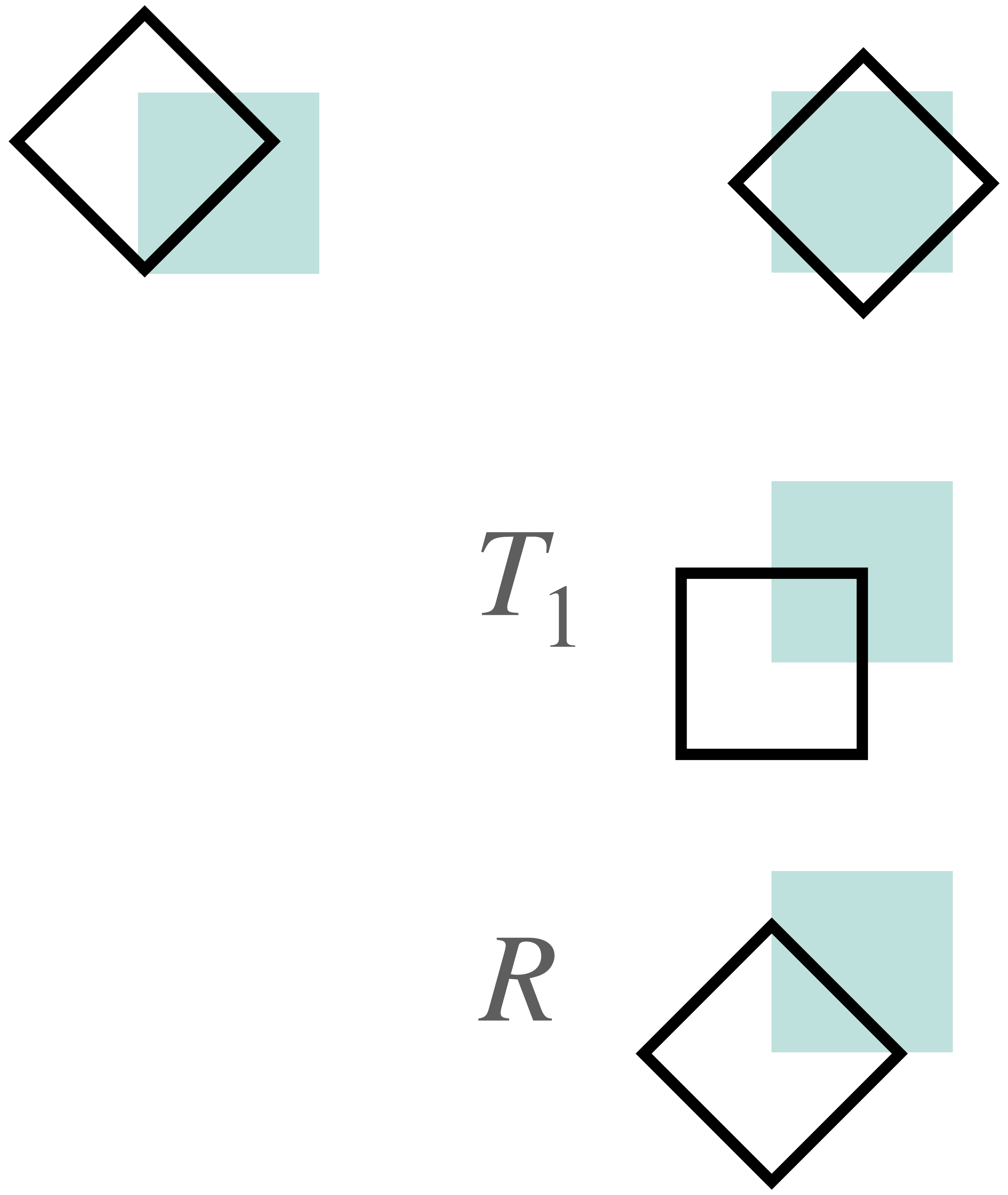
Rotação e Translação



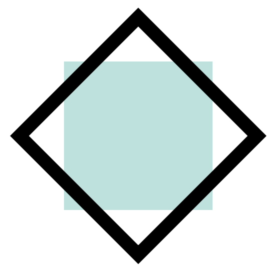


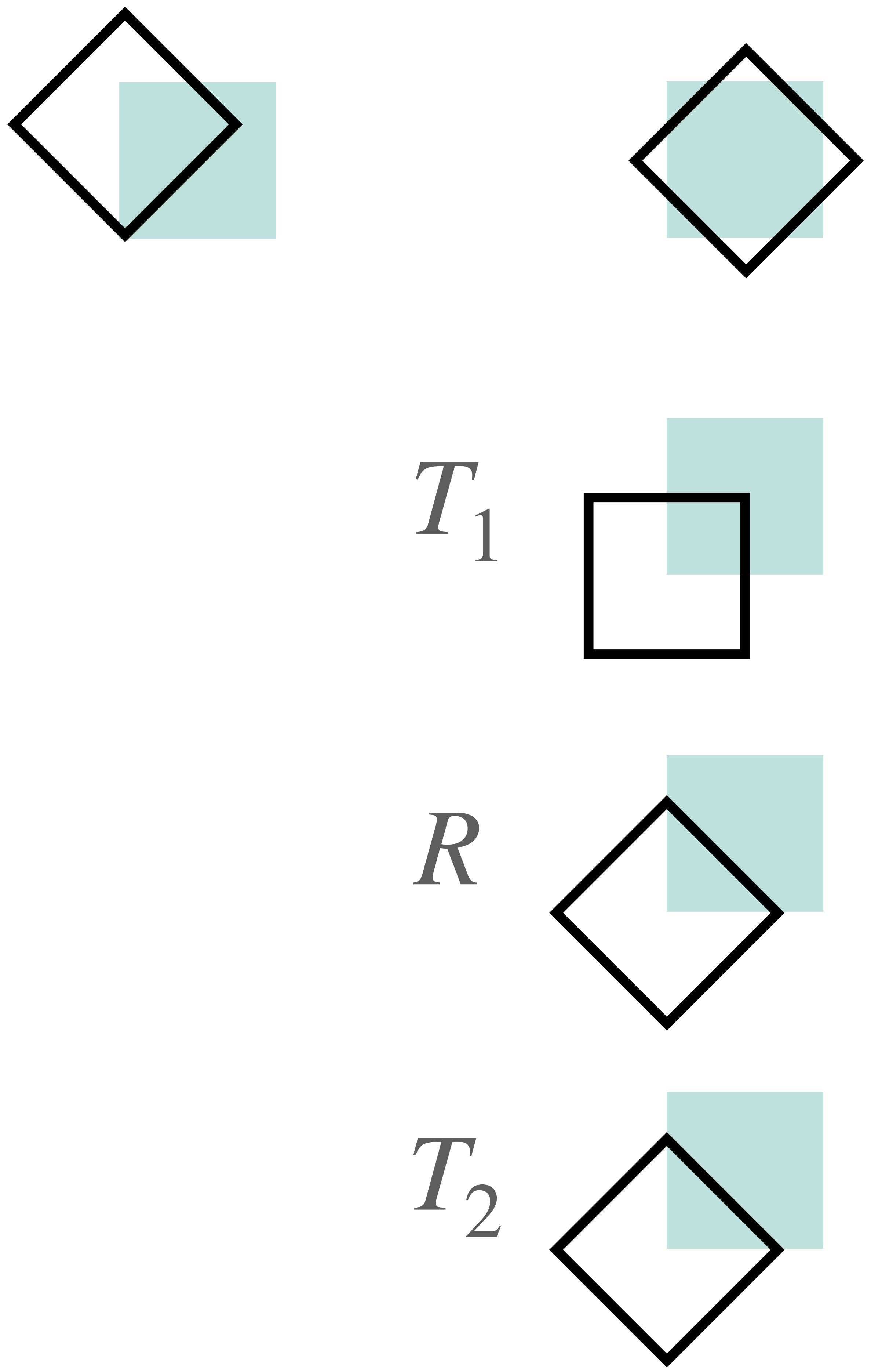
Rotação e Translação



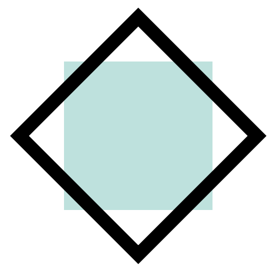


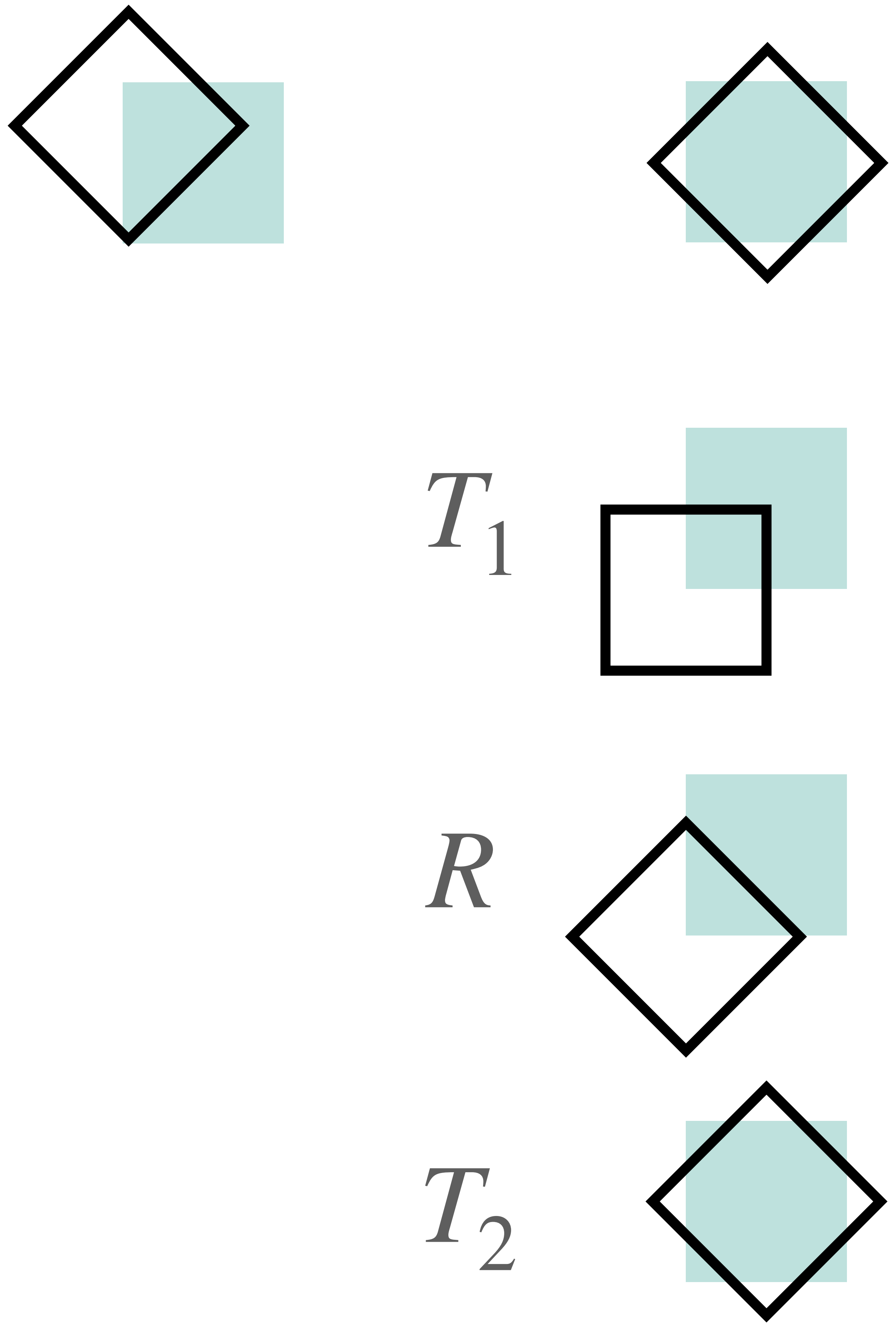
Rotação e Translação



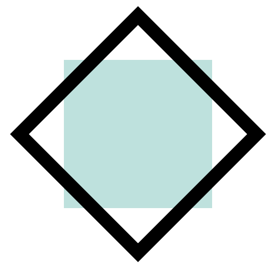


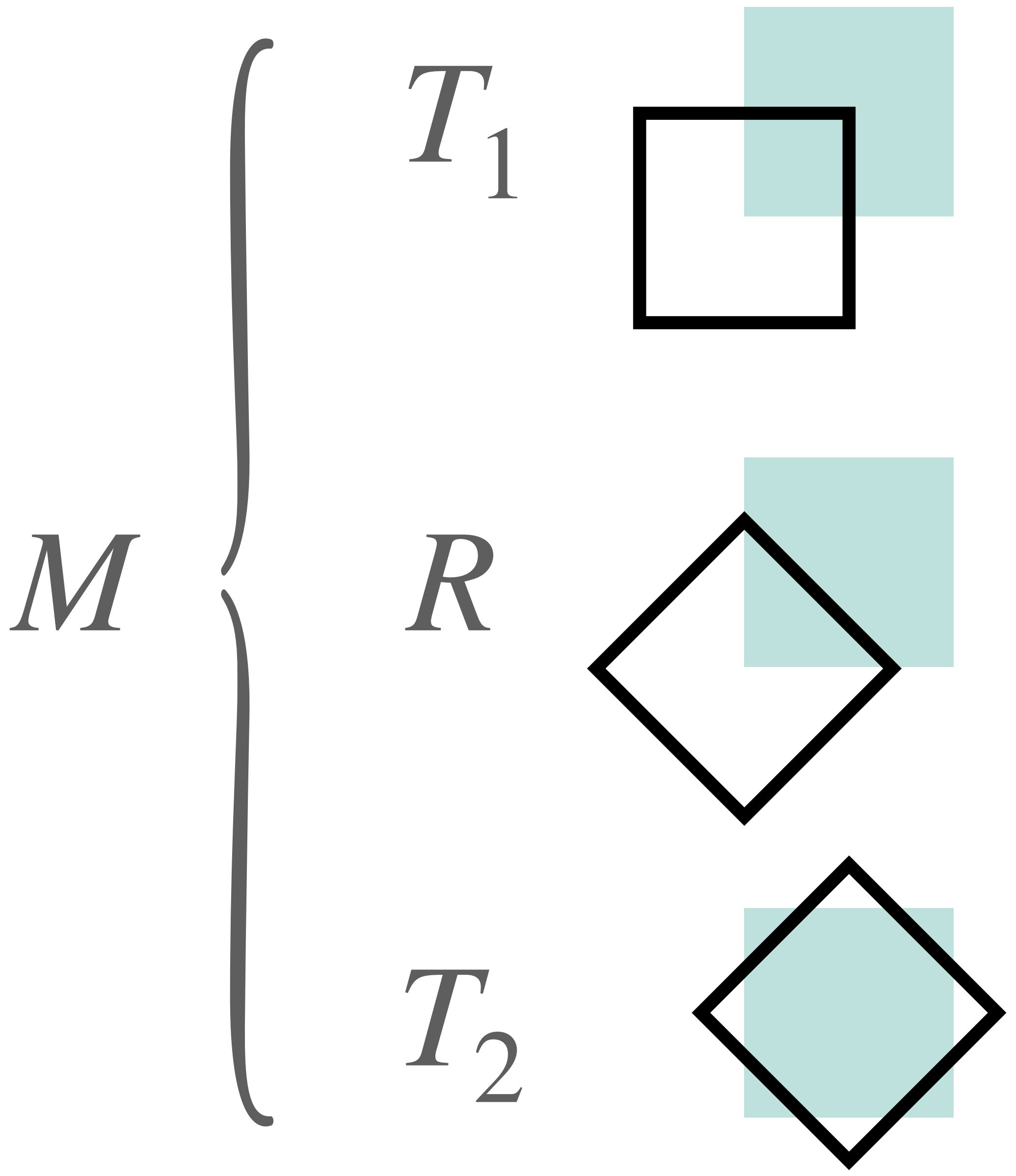
Rotação e Translação





Rotação e Translação





Coordenadas Homogêneas

$$p' = p + t$$

$$p' = Tp$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x + t_x \\ p_y + t_y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix}$$

Coordenadas Homogêneas

$$p' = p + t$$

$$p' = Tp$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x + t_x \\ p_y + t_y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordenadas Homogêneas

$$p' = p + t$$

$$p' = Tp$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x + t_x \\ p_y + t_y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordenadas Homogêneas

$$p' = p + t$$

$$p' = Tp$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x + t_x \\ p_y + t_y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Coordenadas Homogêneas

$$p' = \underbrace{TSRTRTRSRS}p$$

$$p' = \quad Mp$$

$$R = \begin{bmatrix} cos\theta & sen\theta & 0 \\ -sen\theta & cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Coordenadas Homogêneas

$$p' = \underbrace{TSRTRTRSRS}p$$

$$p' = \quad Mp$$

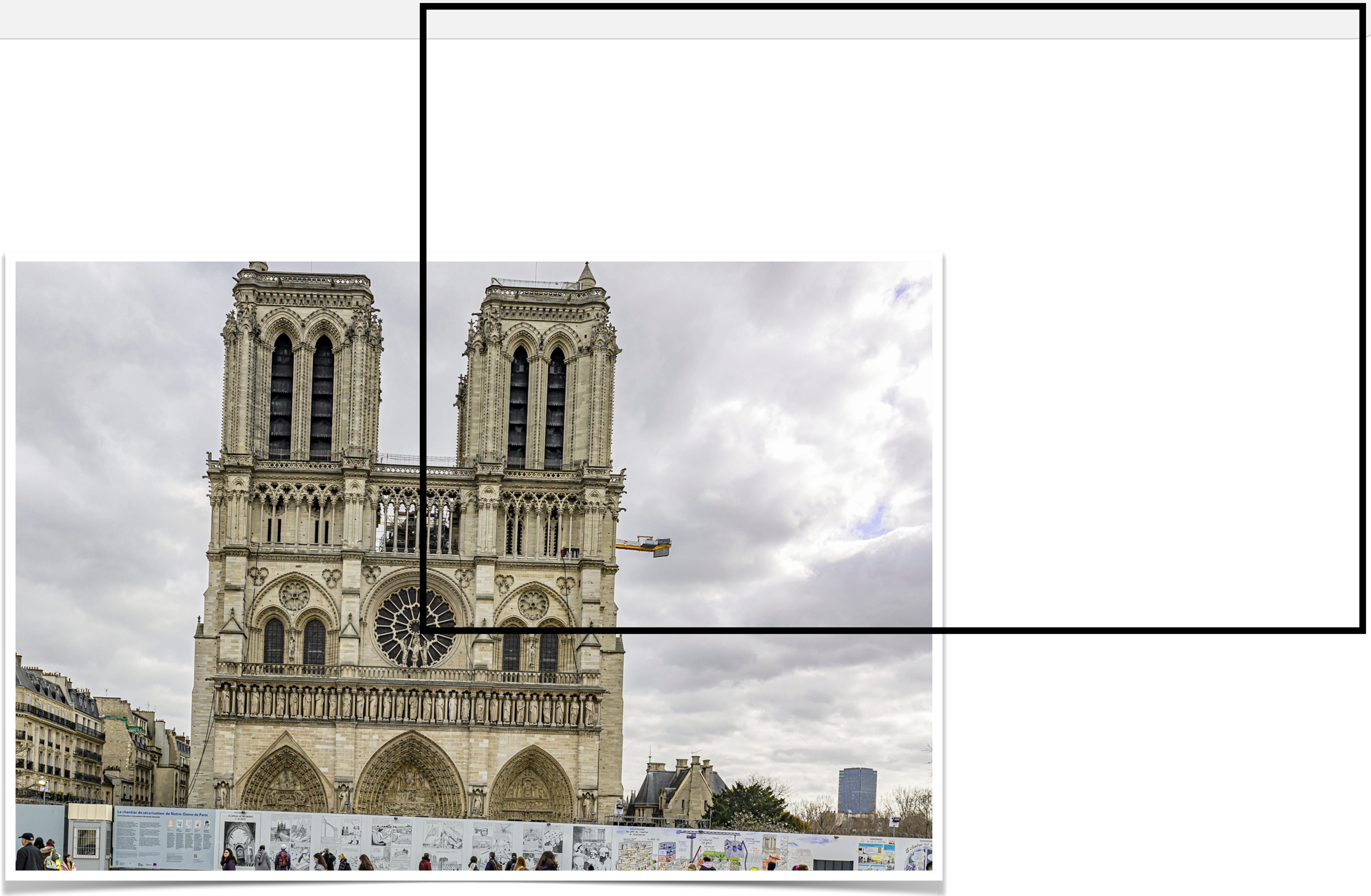
$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Como consertamos nossa foto?

Como consertamos nossa foto?

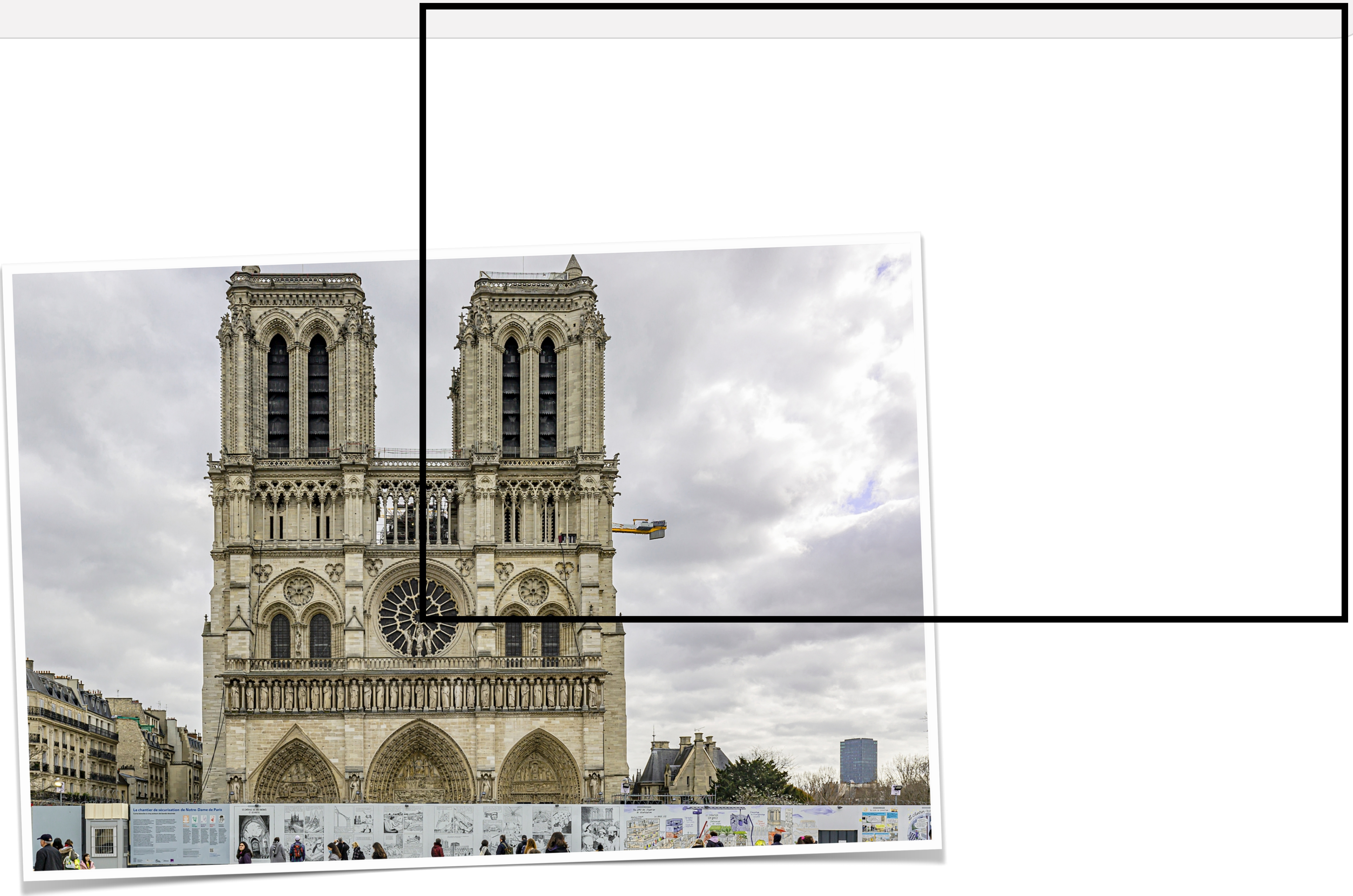
$$p' = p$$

Como consertamos nossa foto?



$$p' = T_1 p$$

Como consertamos nossa foto?



$$p' = R_1 T_1 p$$

Como consertamos nossa foto?

$$p' = T_2 R_1 T_1 p$$

Como consertamos nossa foto?

$$p' = T_3 T_2 R_1 T_1 p$$

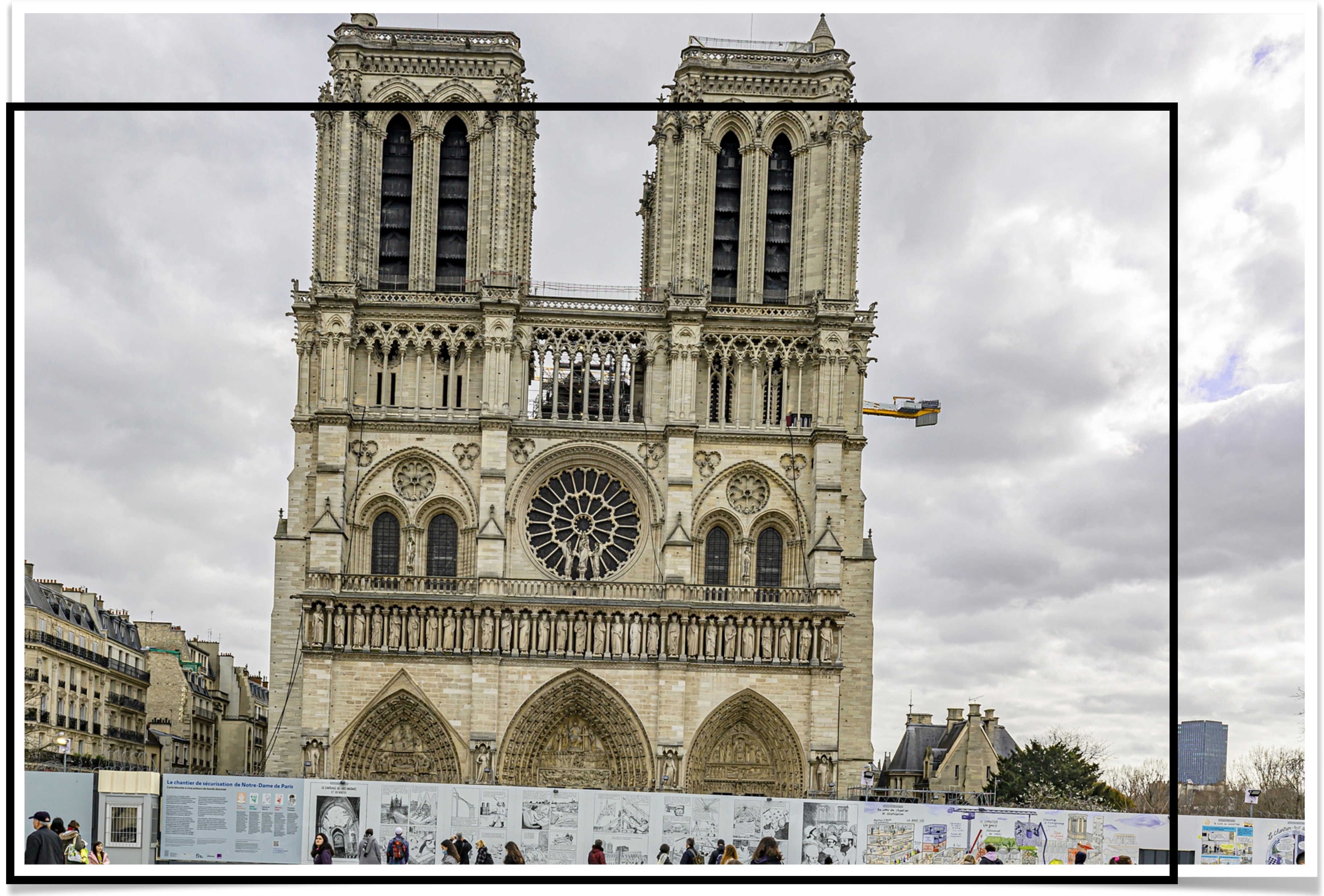
Como consertamos nossa foto?

$$p' = T_3 T_2 R_1 T_1 p$$

Como consertamos nossa foto?

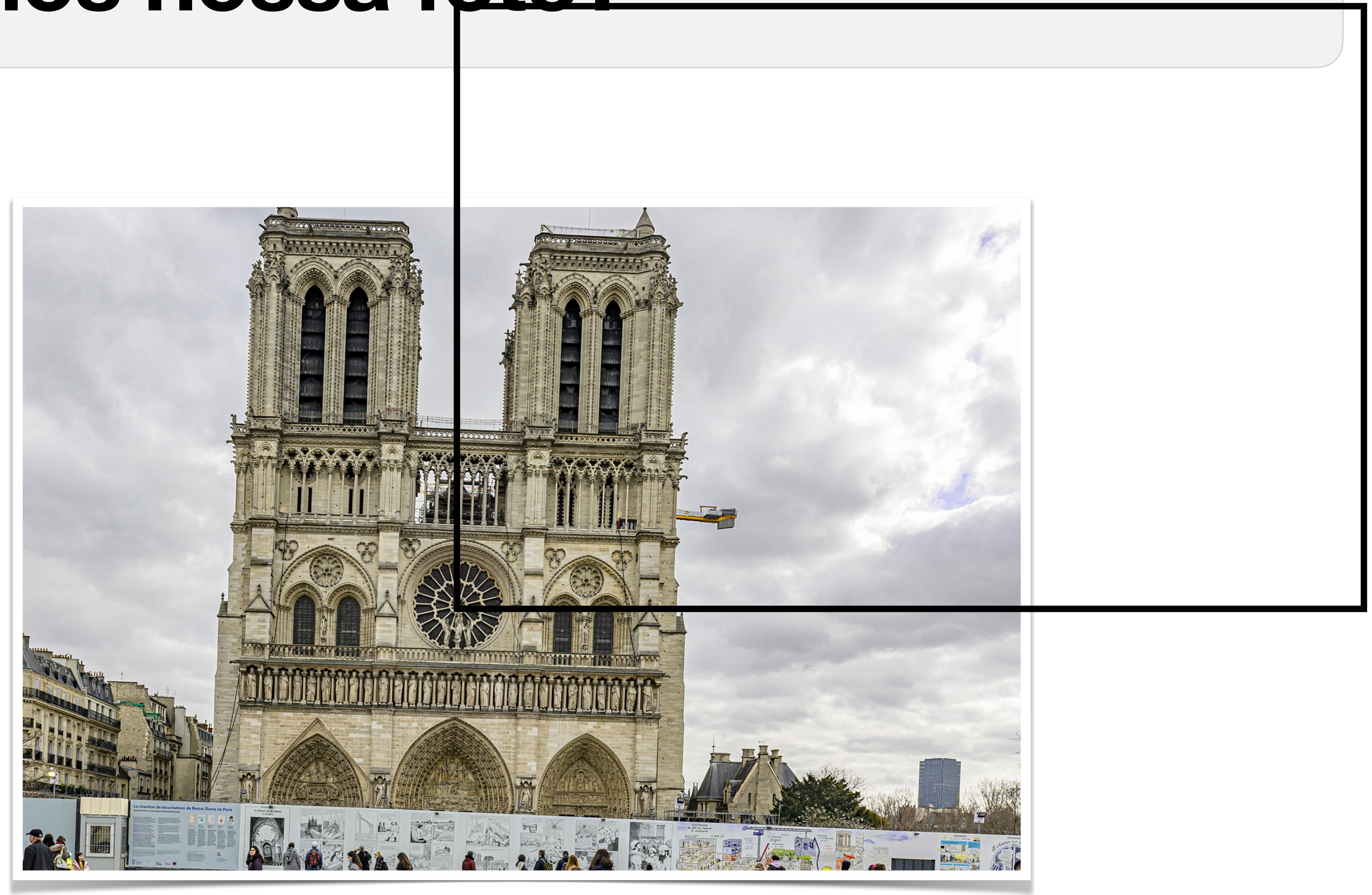
$$p' = p$$

Como consertamos nossa foto?



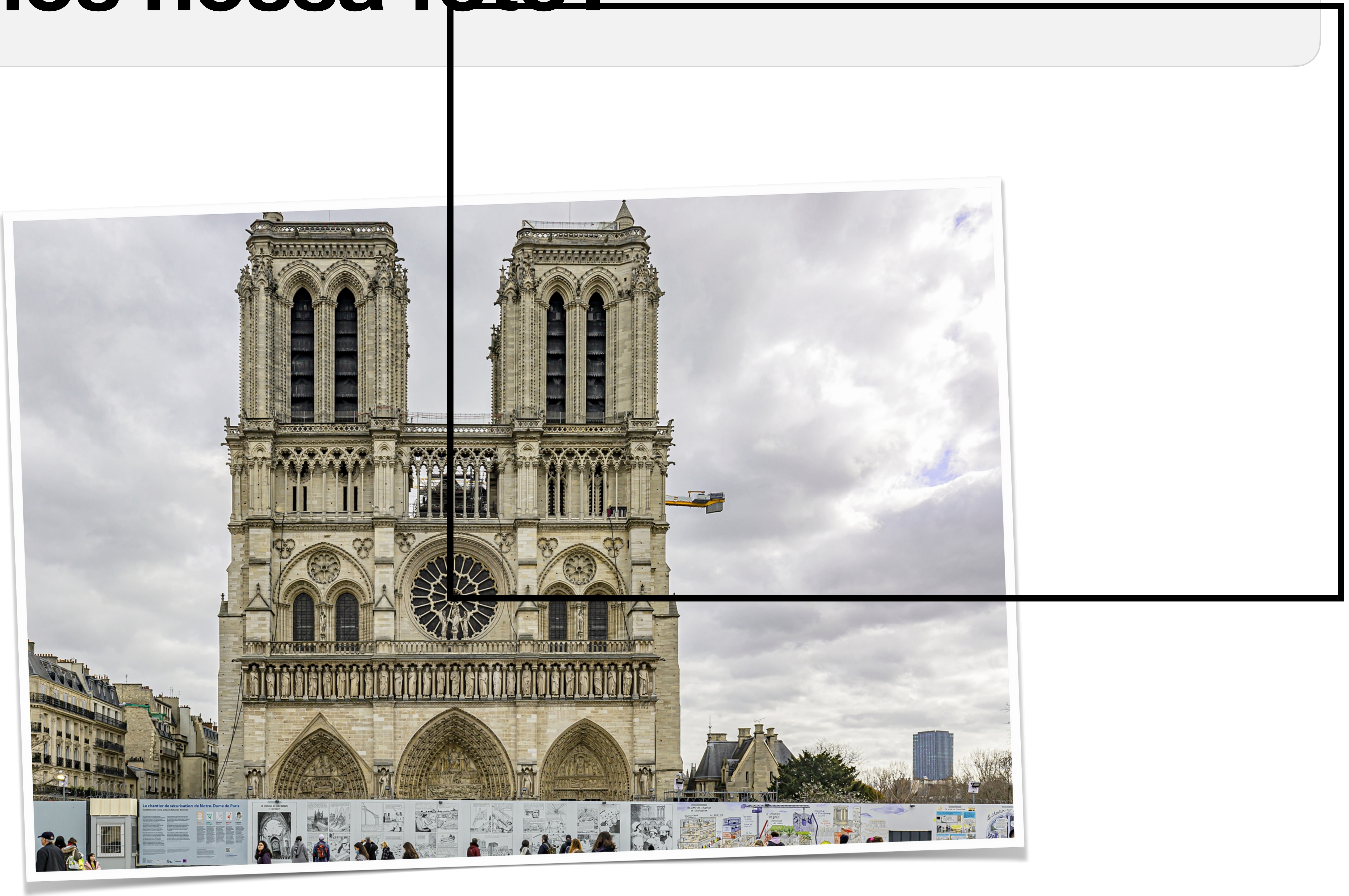
$$p' = S_1 p$$

Como consertamos nossa foto?



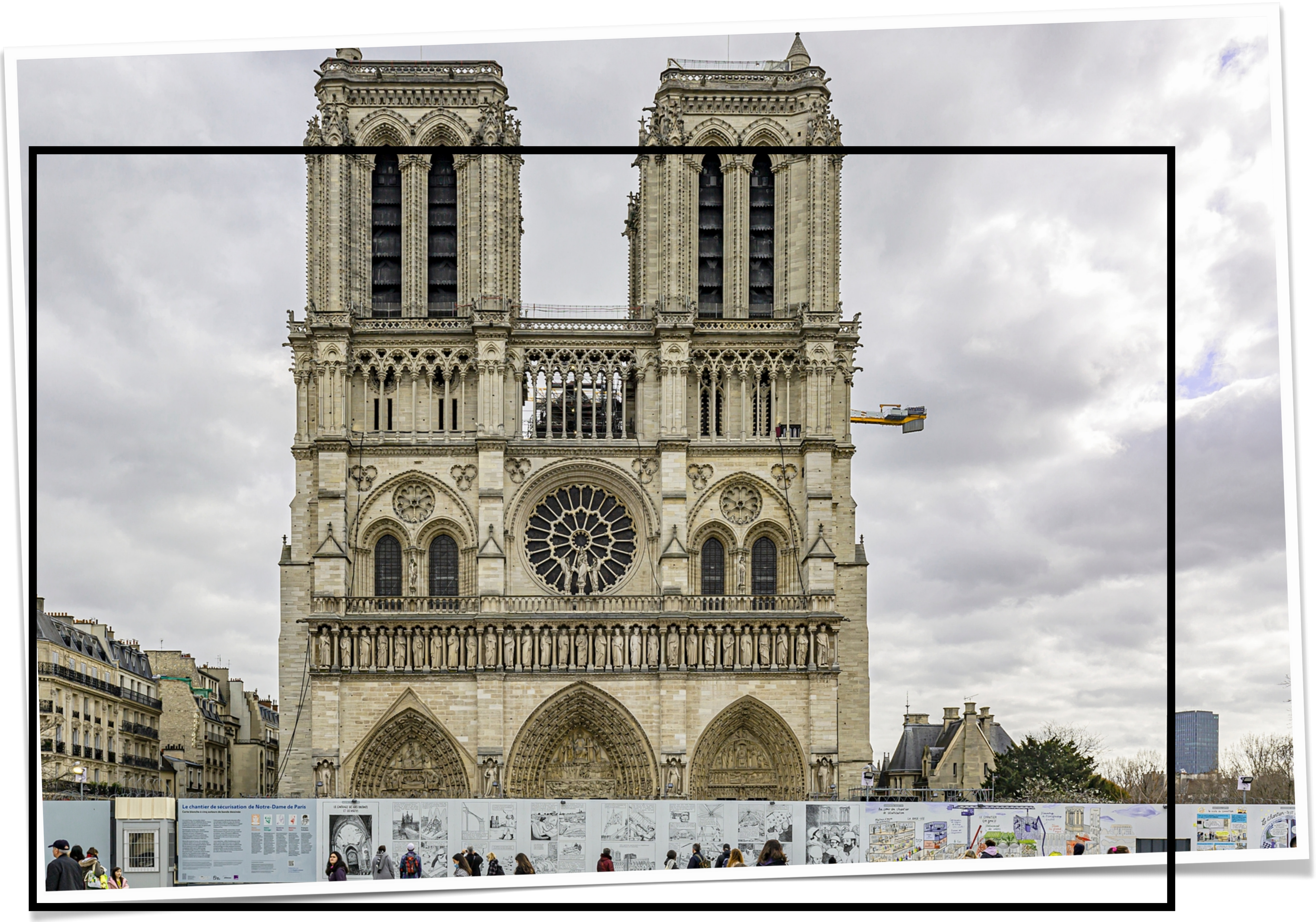
$$p' = T_1 S_1 p$$

Como consertamos nossa foto?



$$p' = R_1 T_1 S_1 p$$

Como consertamos nossa foto?



$$p' = T_2 R_1 T_1 S_1 p$$

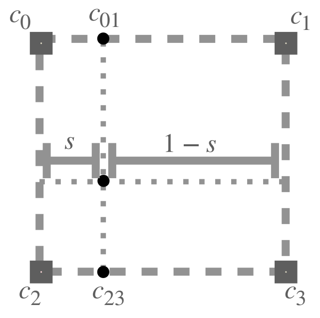
Como consertamos nossa foto?

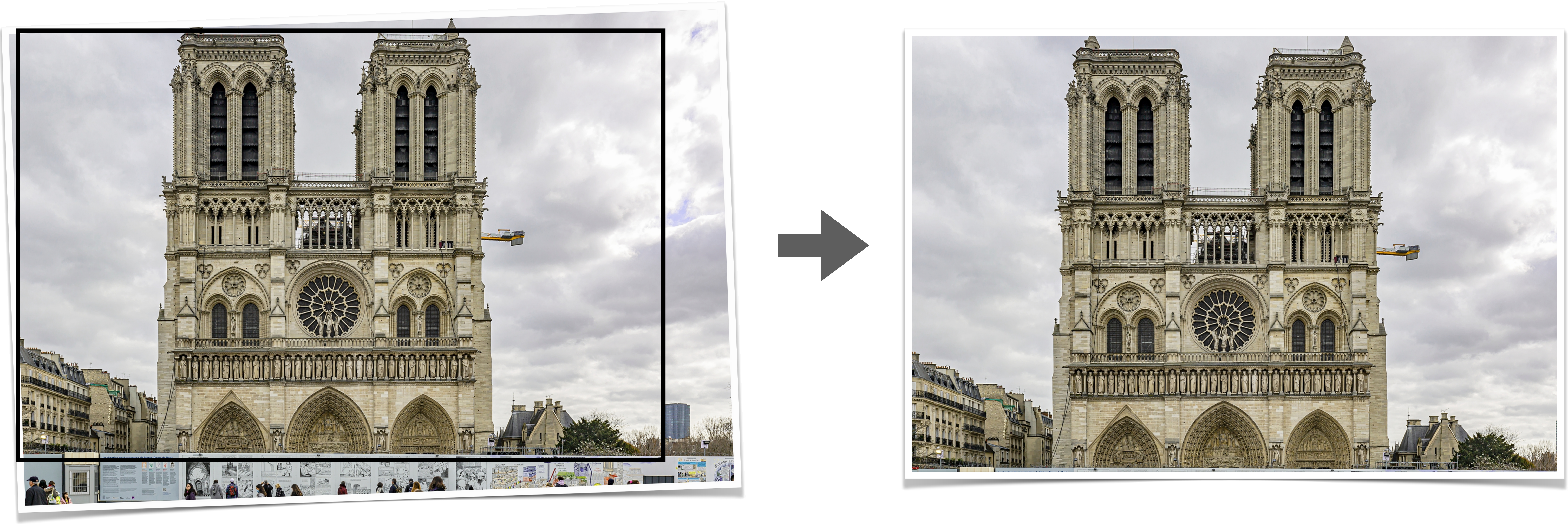
$$p' = T_3 T_2 R_1 T_1 S_1 p$$

Como consertamos nossa foto?

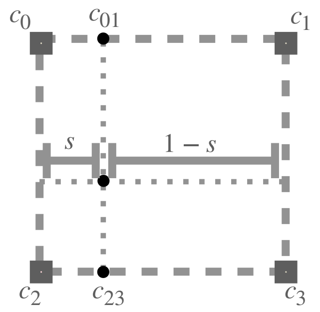
$$p' = T_3 T_2 R_1 T_1 S_1 p$$

O que aconteceu aqui?



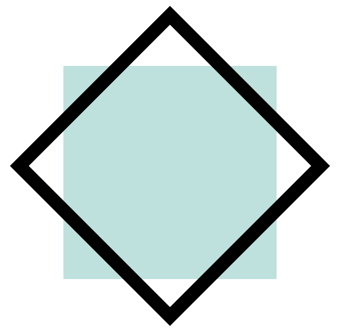


O que aconteceu aqui?

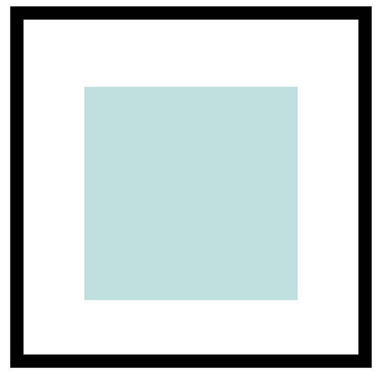


Translação

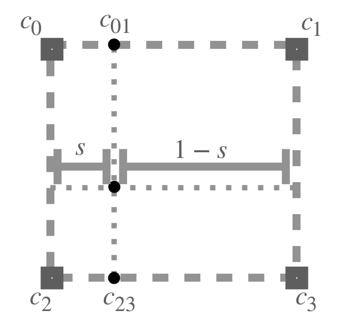
Rotação

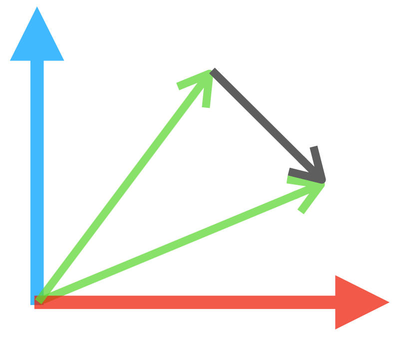


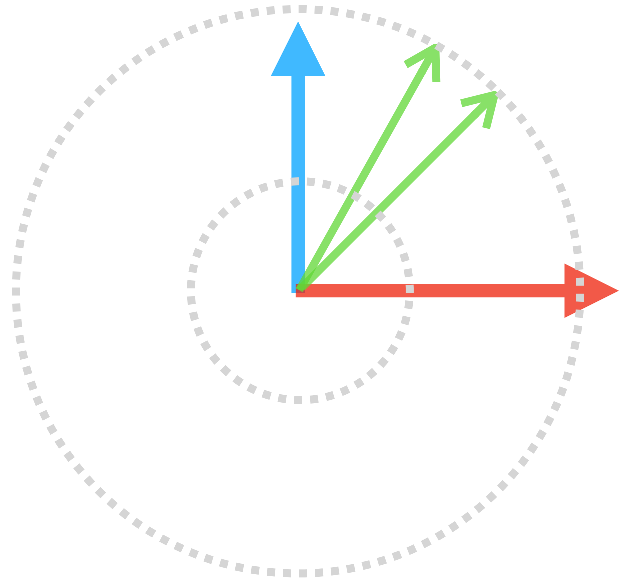
Escala

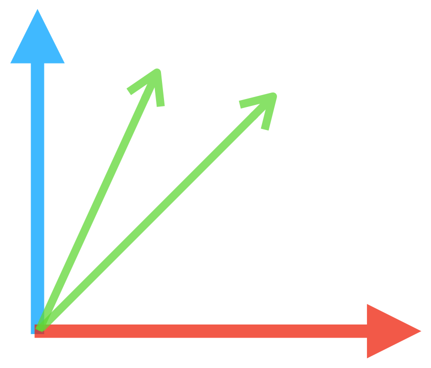


O que aconteceu aqui?

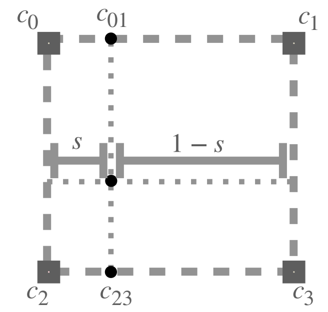


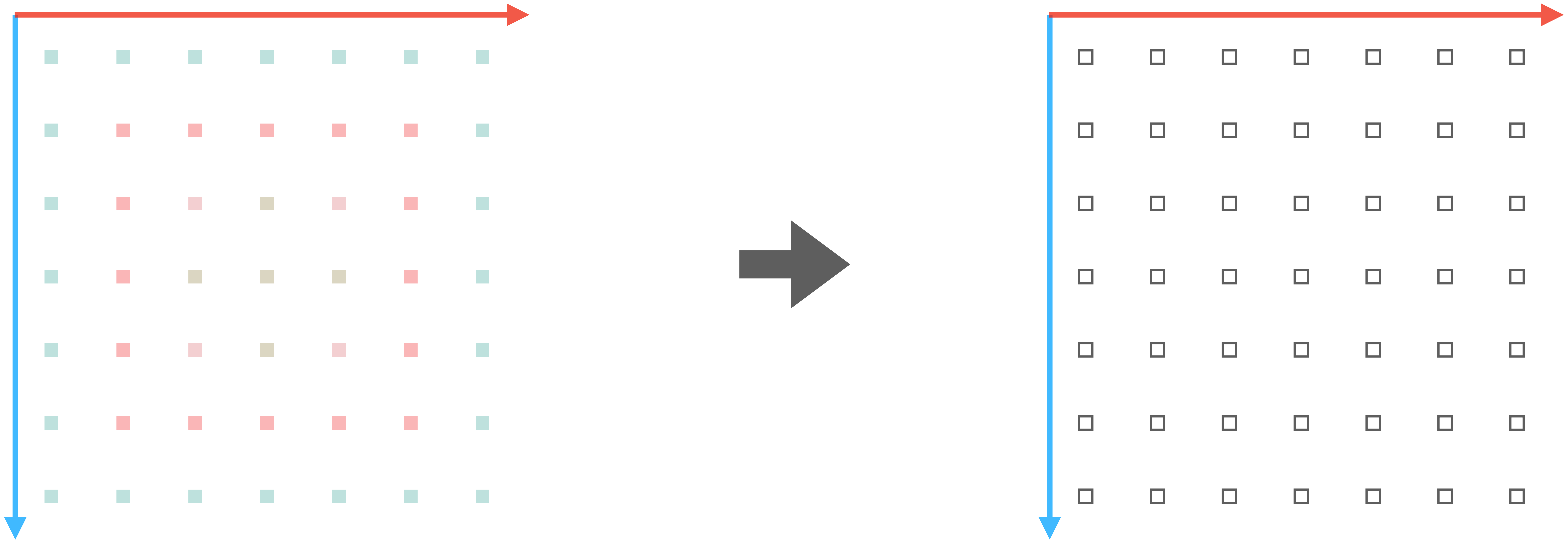

Translação


Rotação

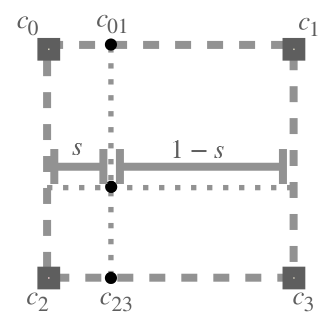

Escala

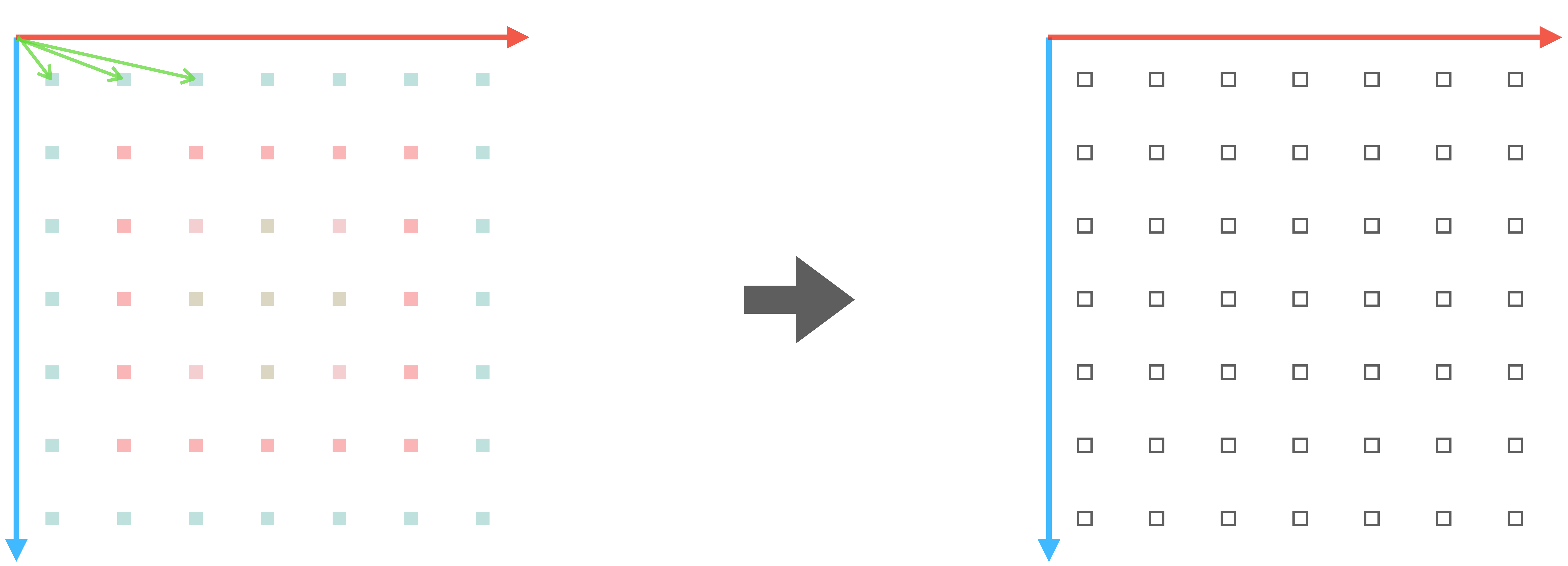
O que aconteceu aqui?





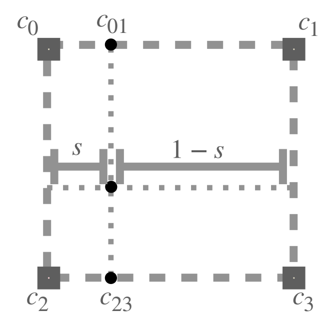
O que aconteceu aqui?

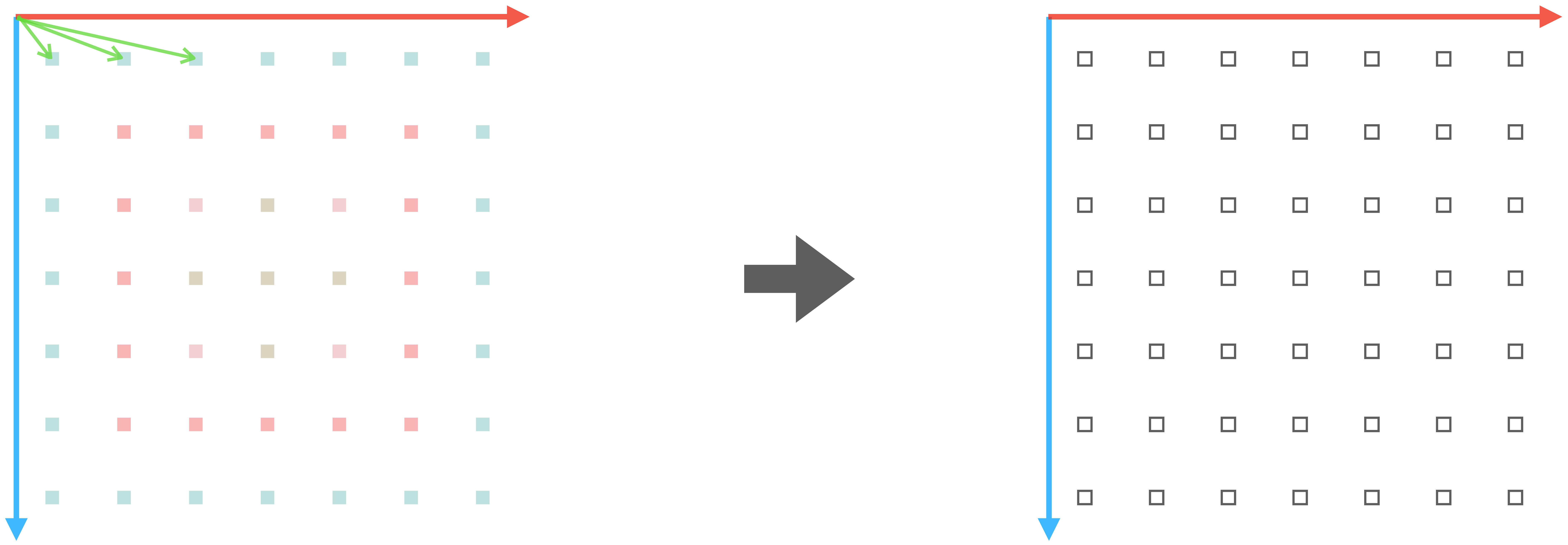


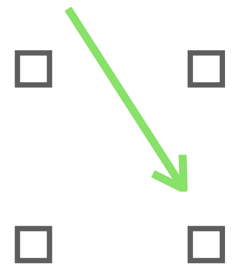


$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

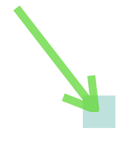
Computação de Endereço Forward



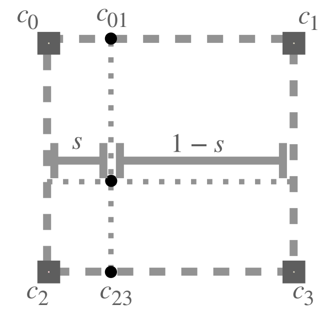


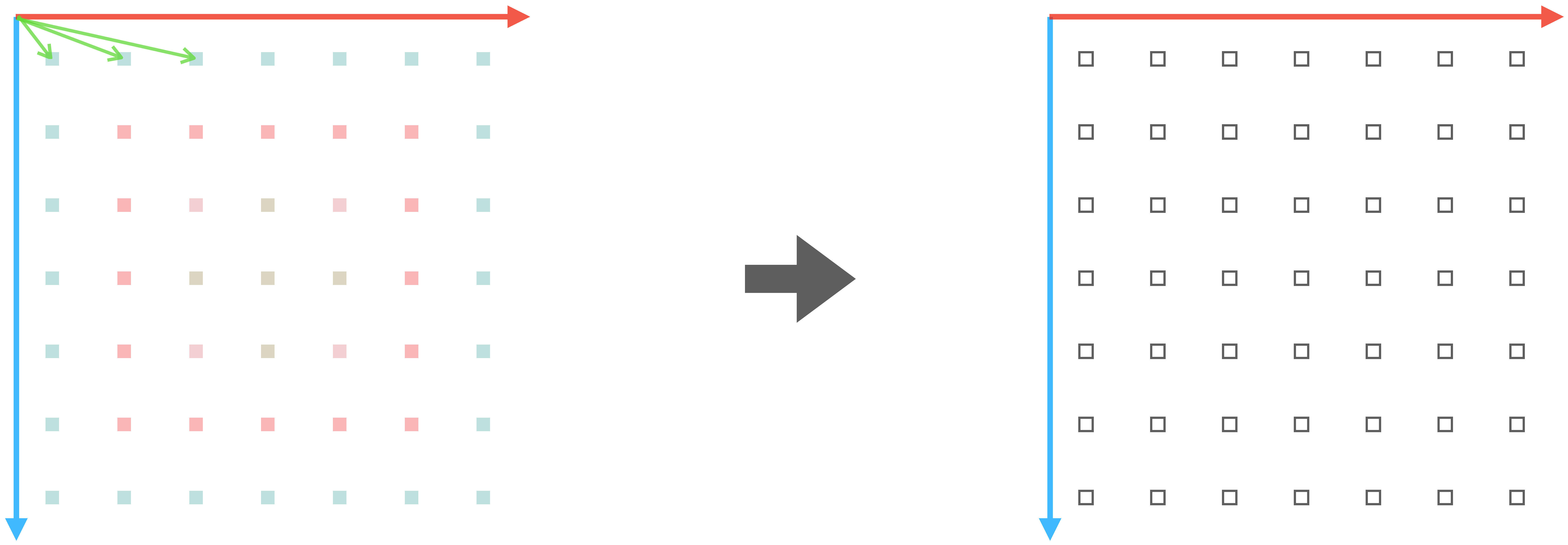


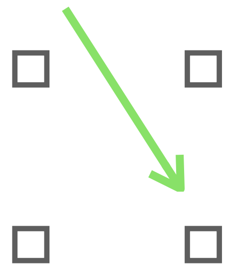
$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix}$$



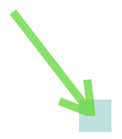
Computação de Endereço Forward





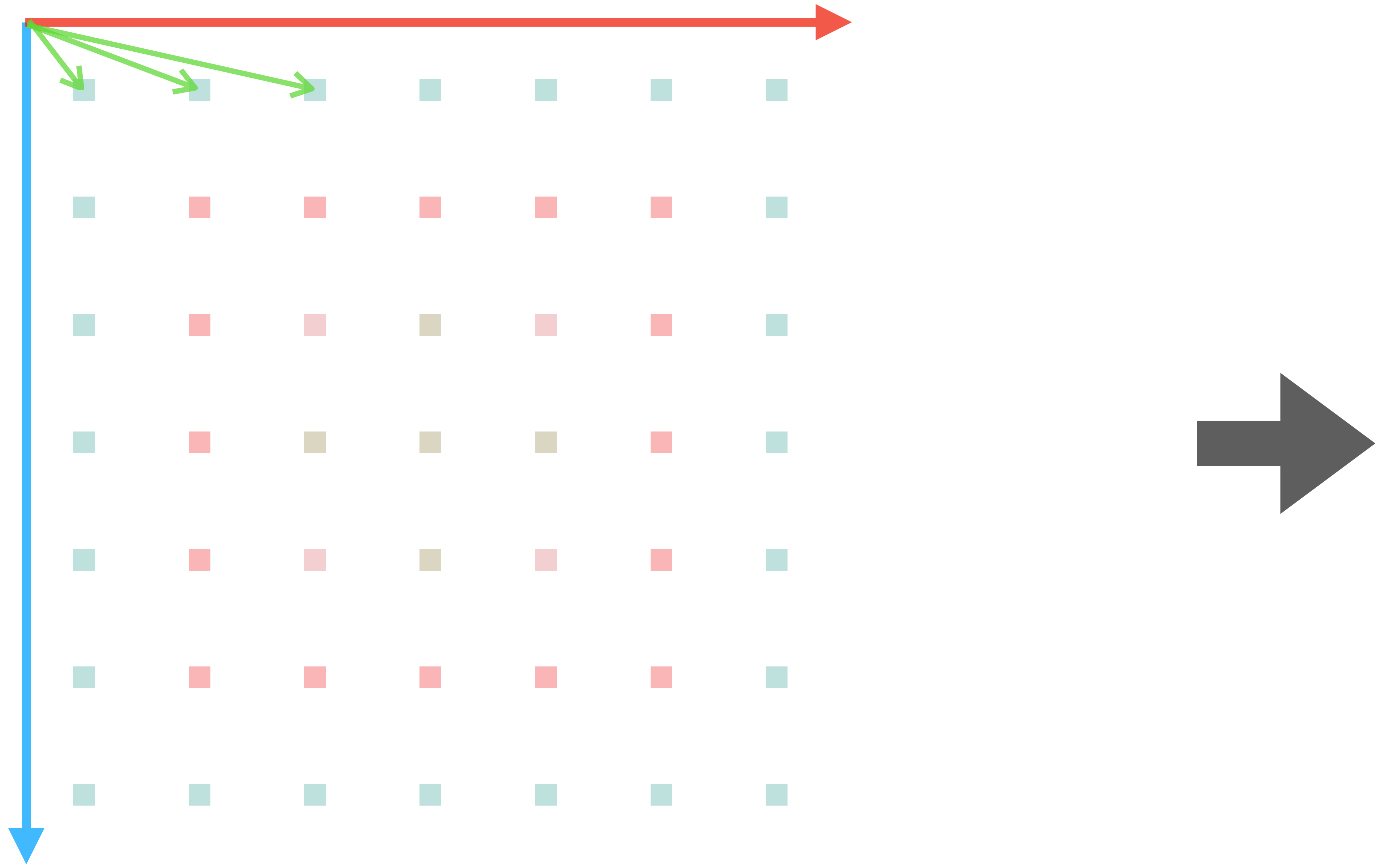


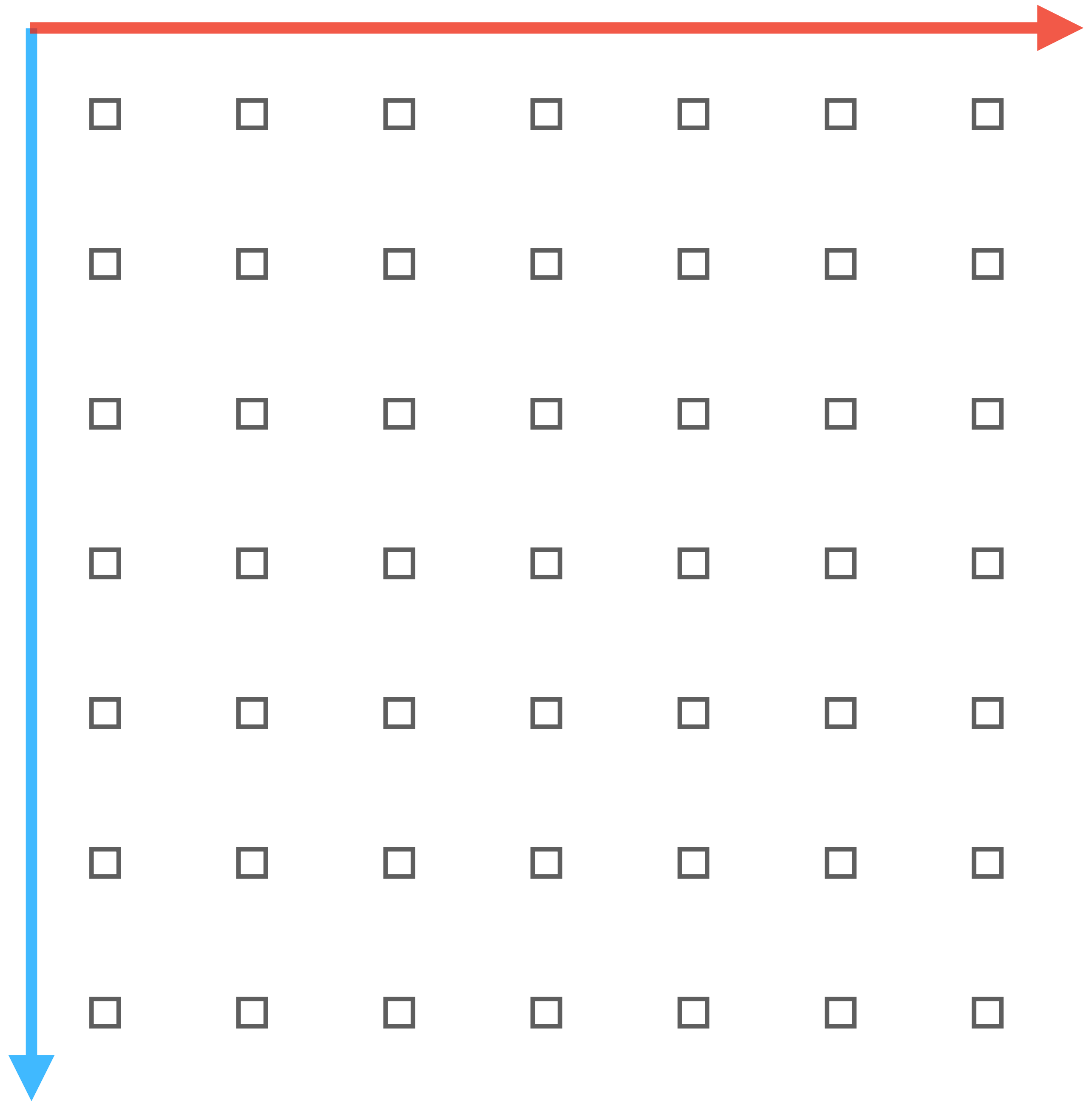
$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

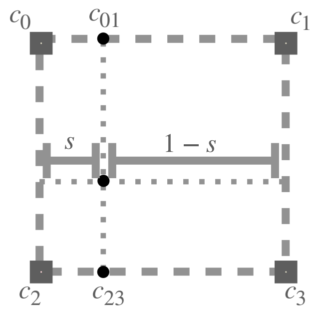


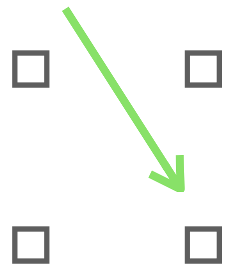
Para cada pixel da imagem original, sabemos onde ele deve aparecer na nova imagem

Computação de Endereço Forward

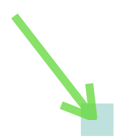








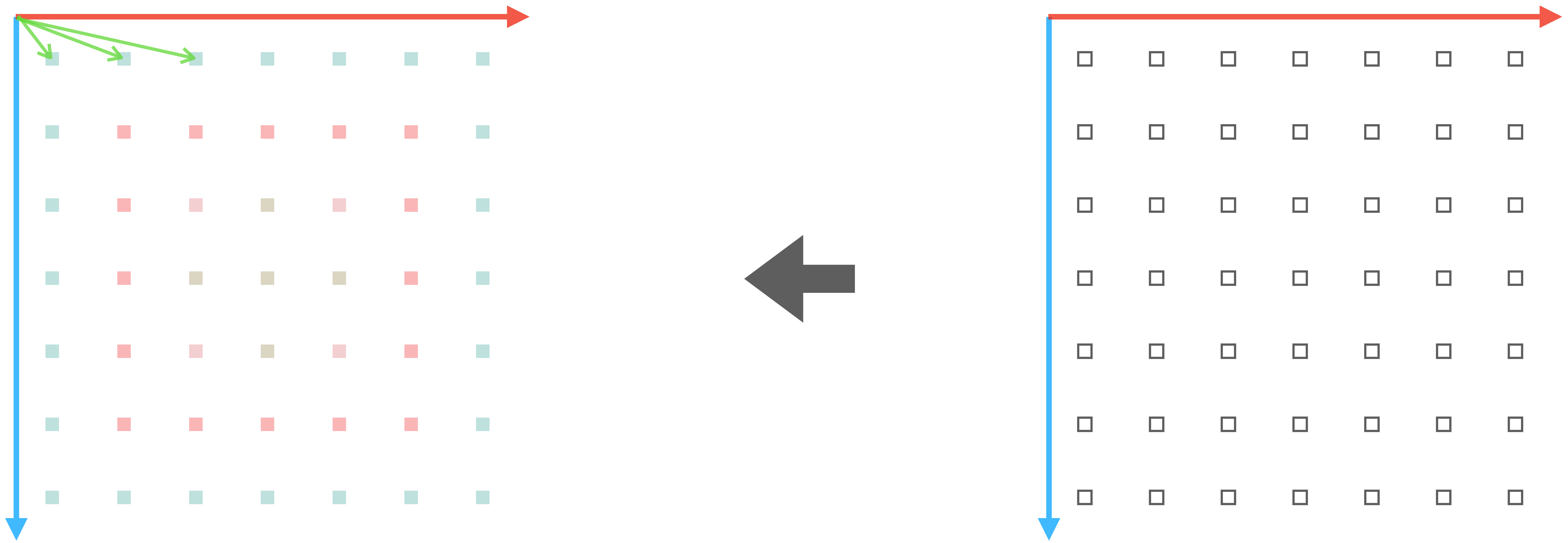
$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix}$$



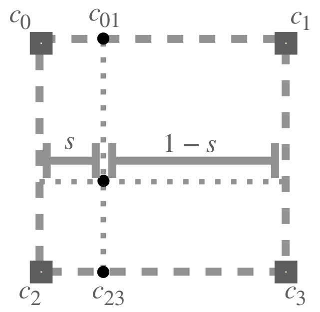
Para cada pixel da imagem original, sabemos onde ele deve aparecer na nova imagem

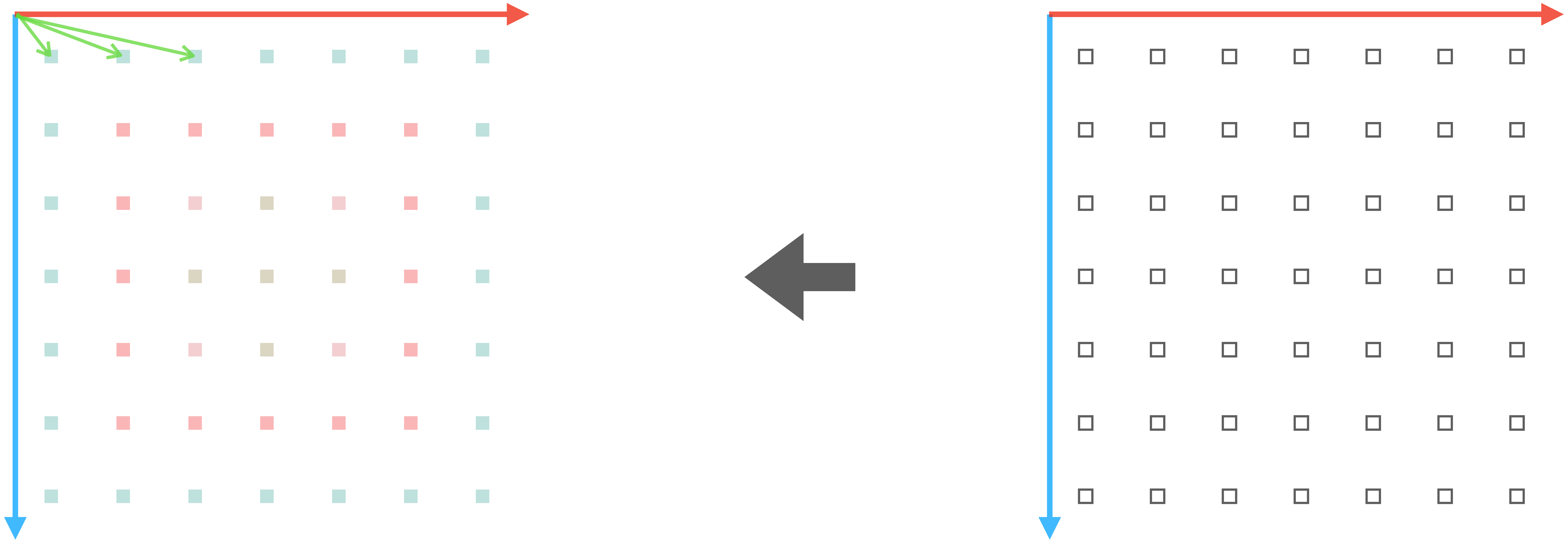
Mas e se a nova coordenada não for inteira?

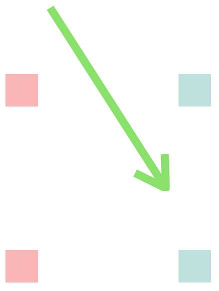
Computação de Endereço Backward



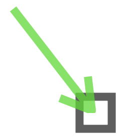
Computação de Endereço Backward



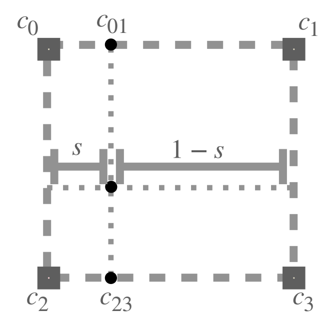


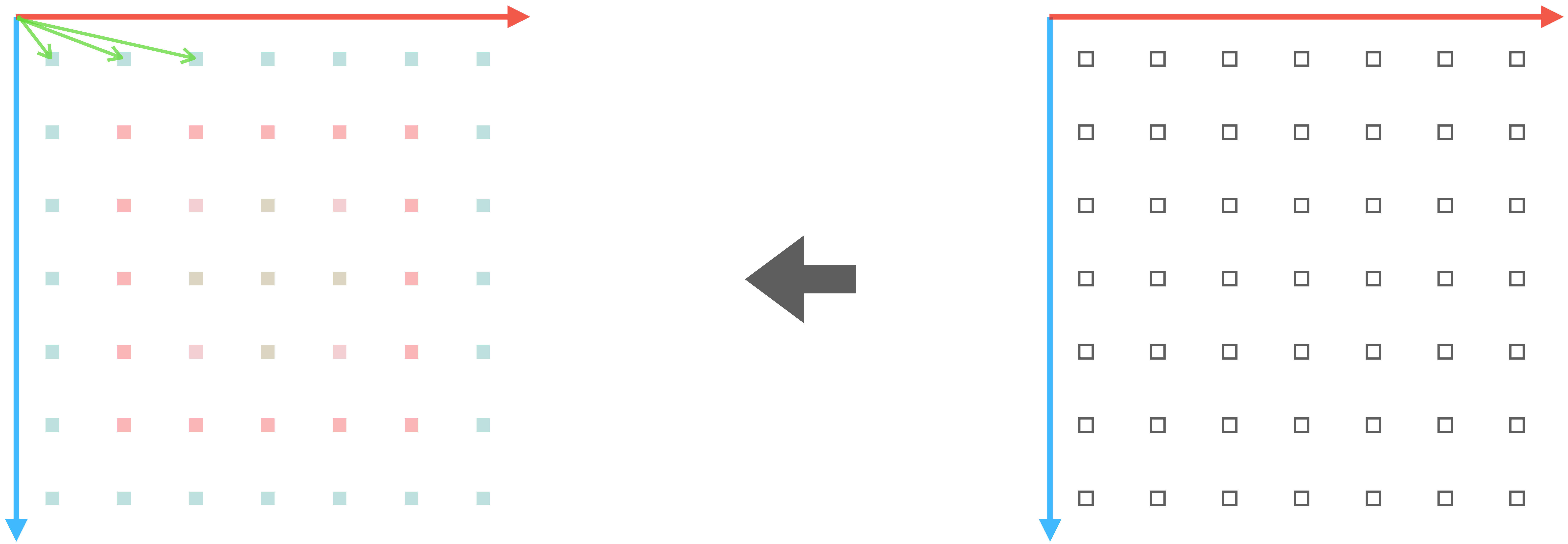


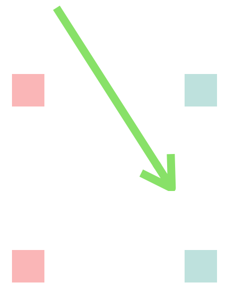
$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix}$$



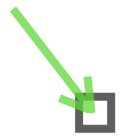
Computação de Endereço Backward





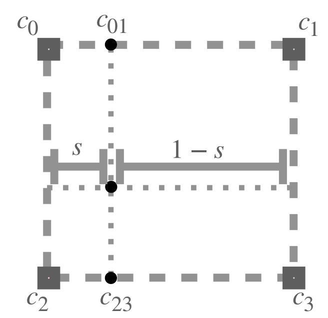


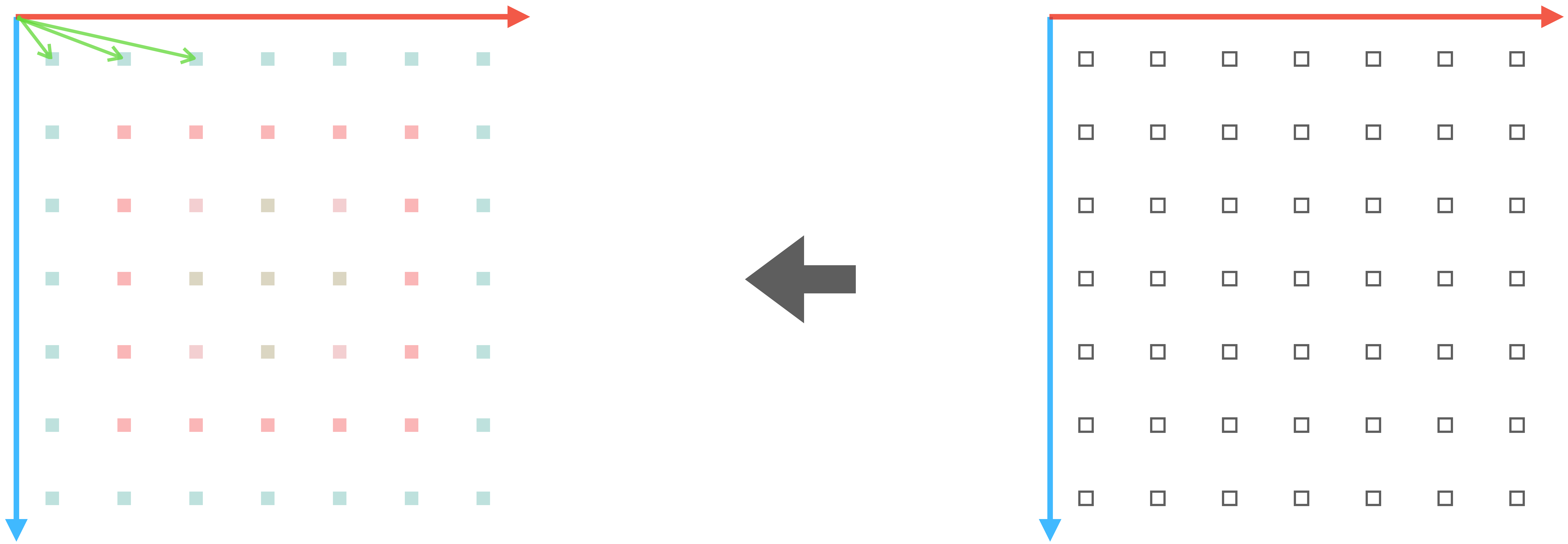
$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix}$$



Para cada pixel da nova imagem, sabemos de onde ele vem na imagem original

Computação de Endereço Backward



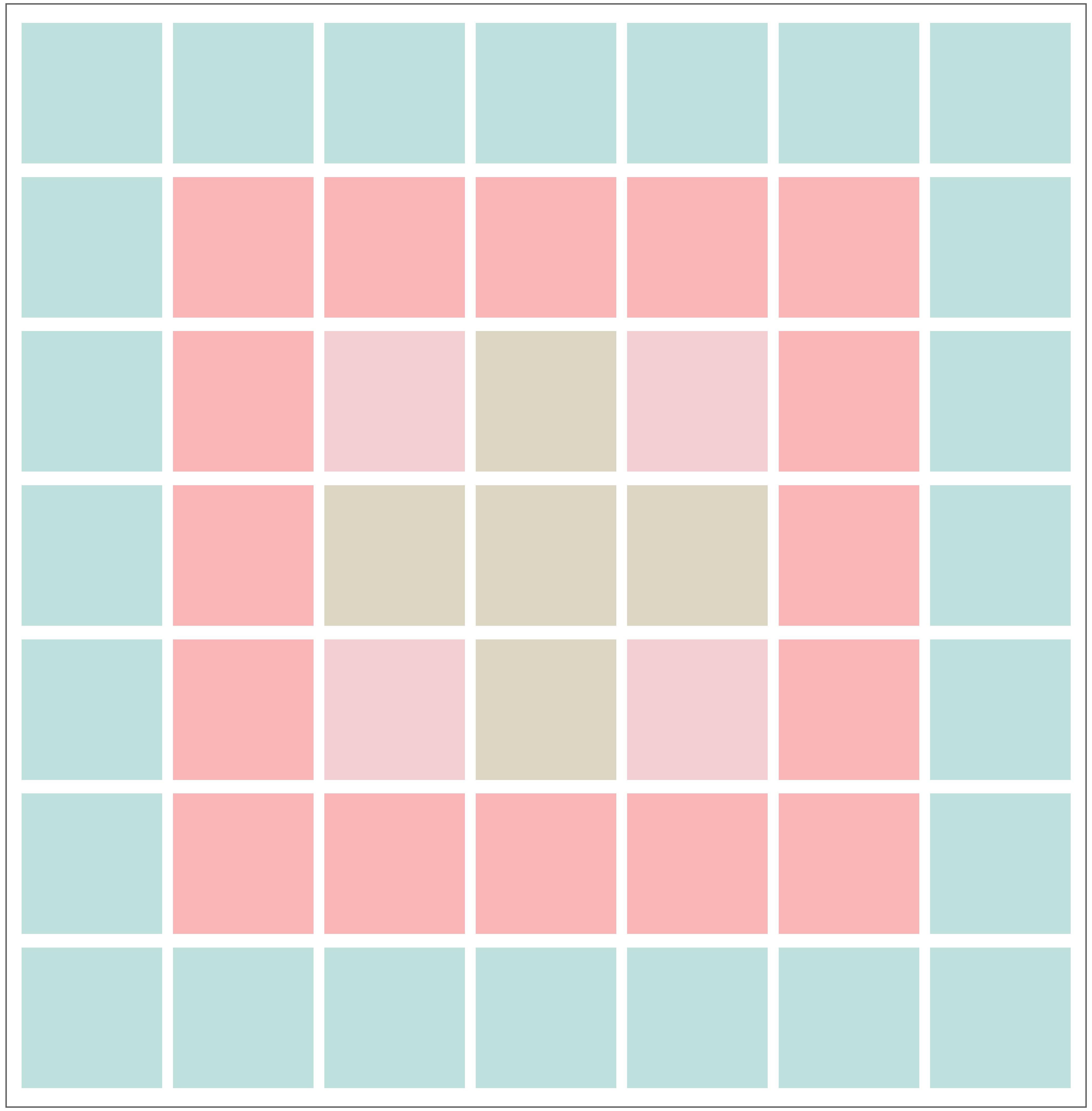


$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & c & e \\ b & d & f \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ 1 \end{bmatrix}$$

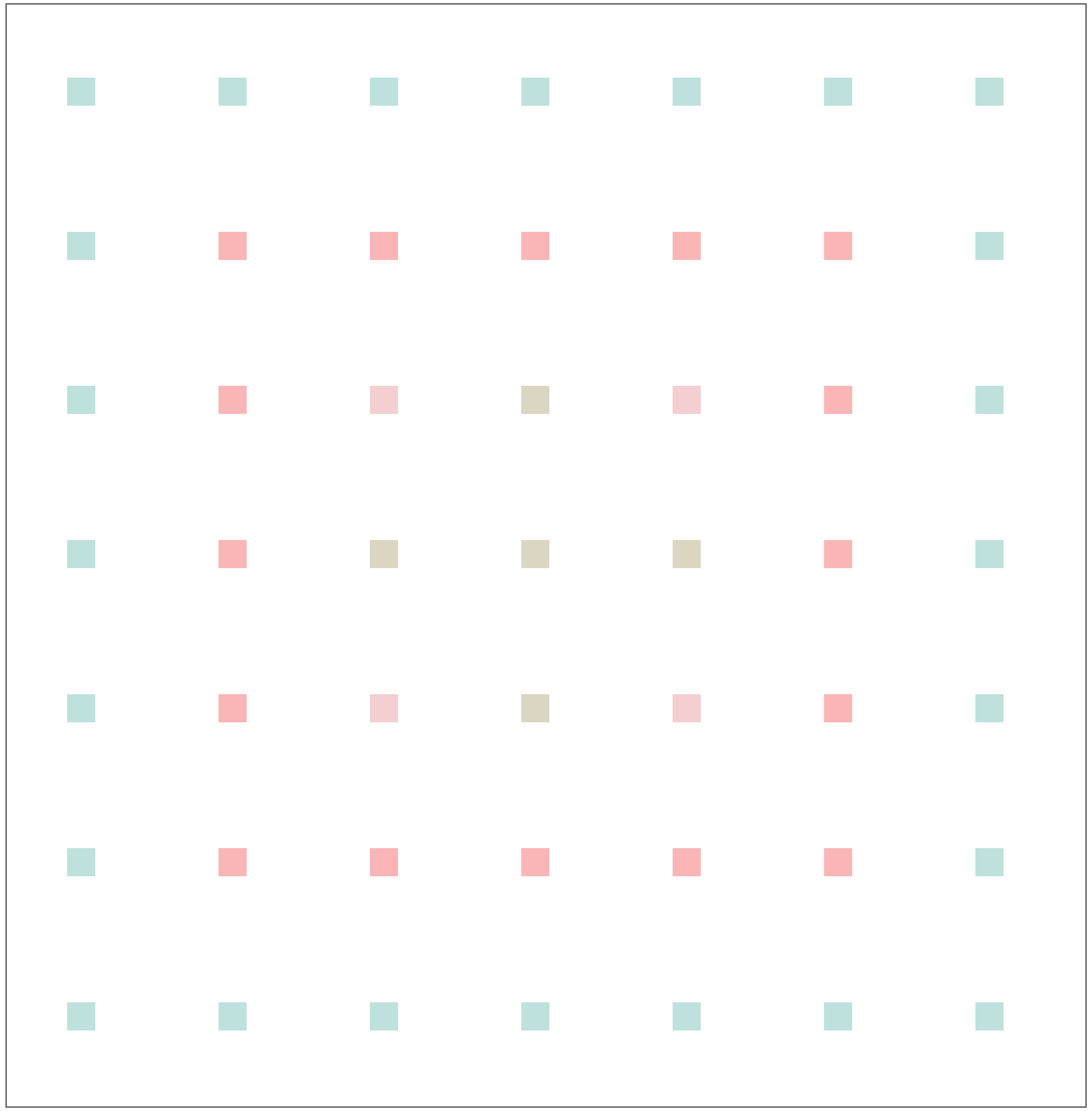
Para cada pixel da nova imagem, sabemos de onde ele vem na imagem original

Com isso garantimos o preenchimento da nova imagem toda e temos mais informações sobre as cores

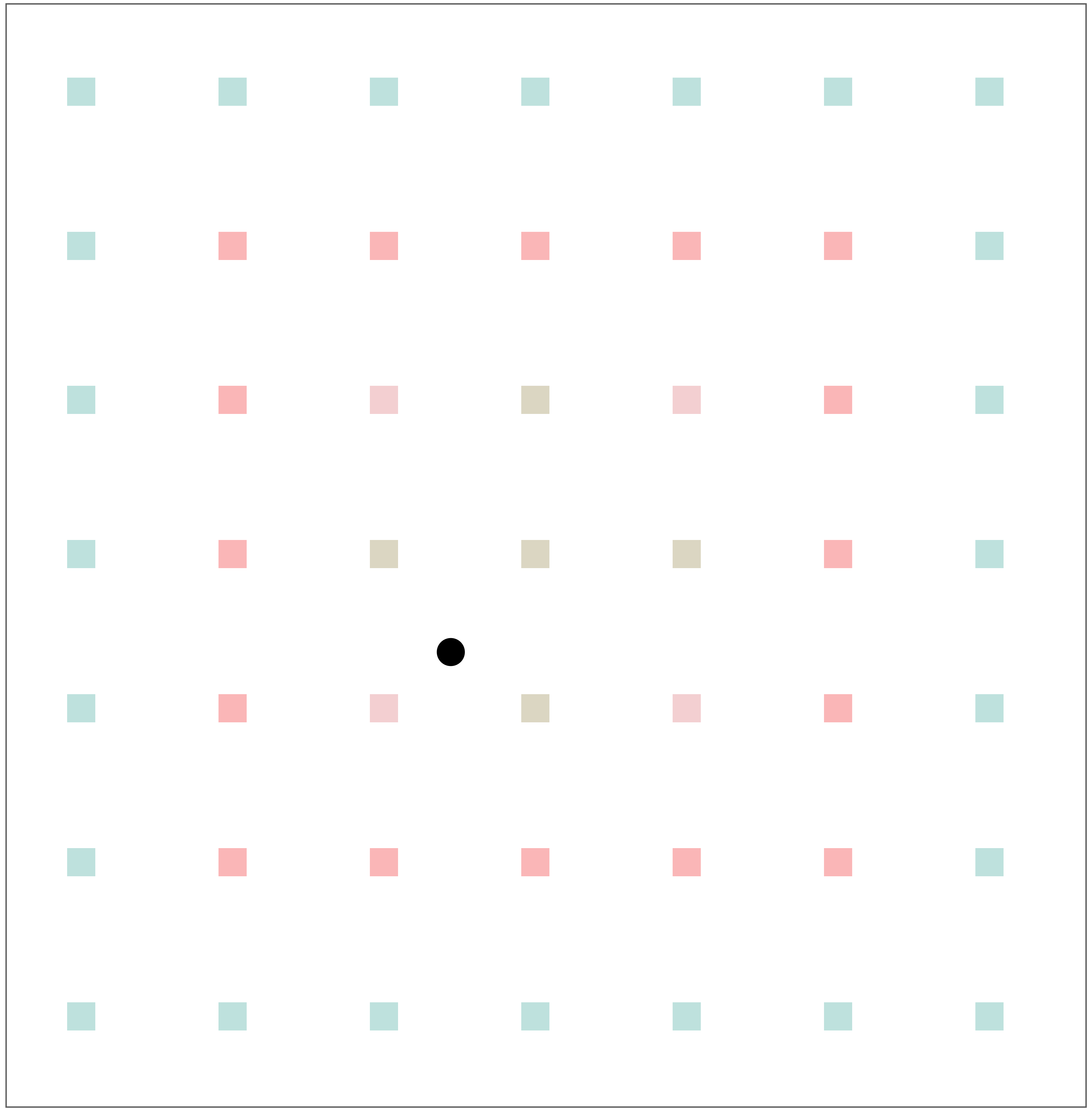
Interpolação



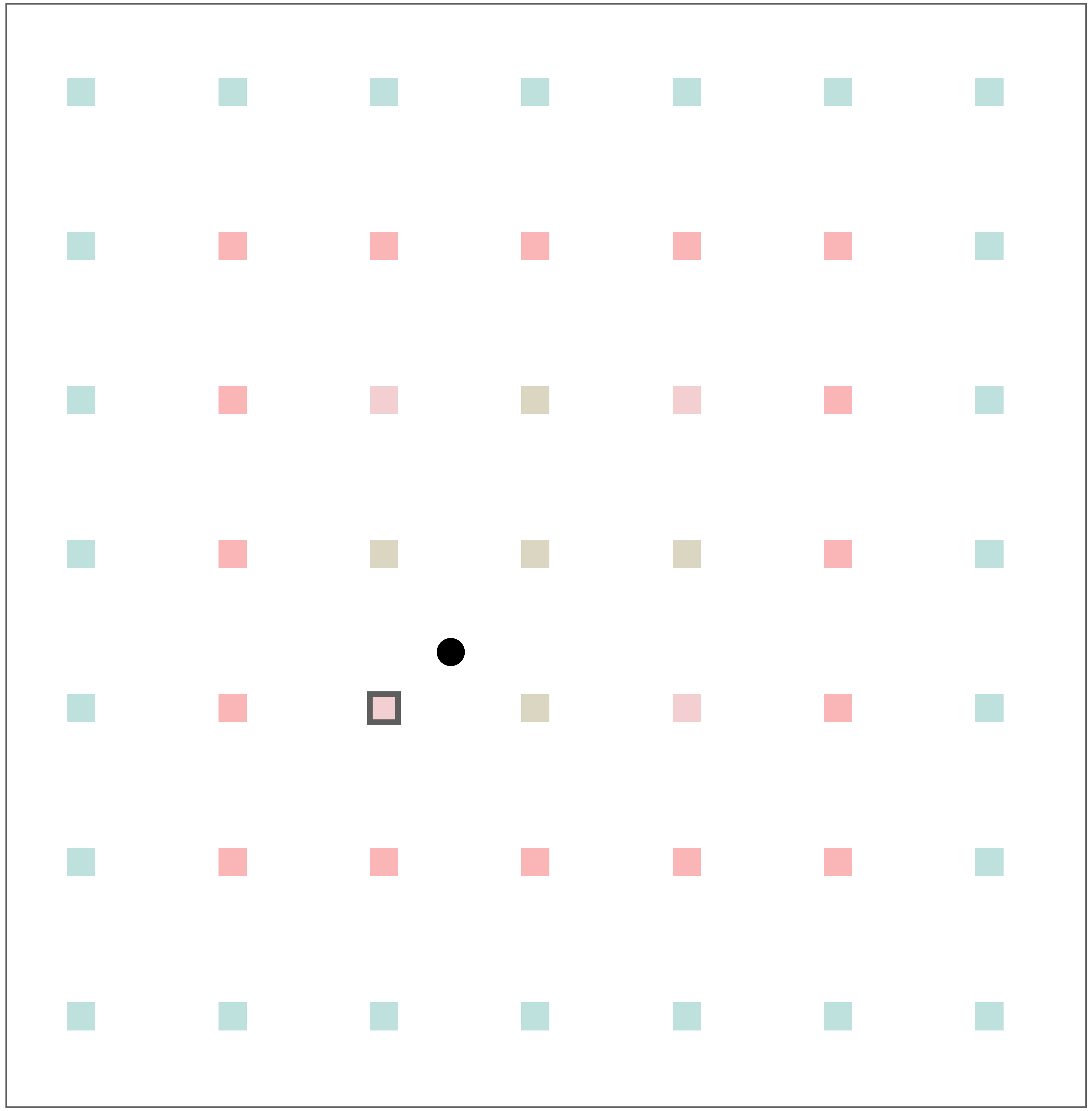
Interpolação



Interpolação



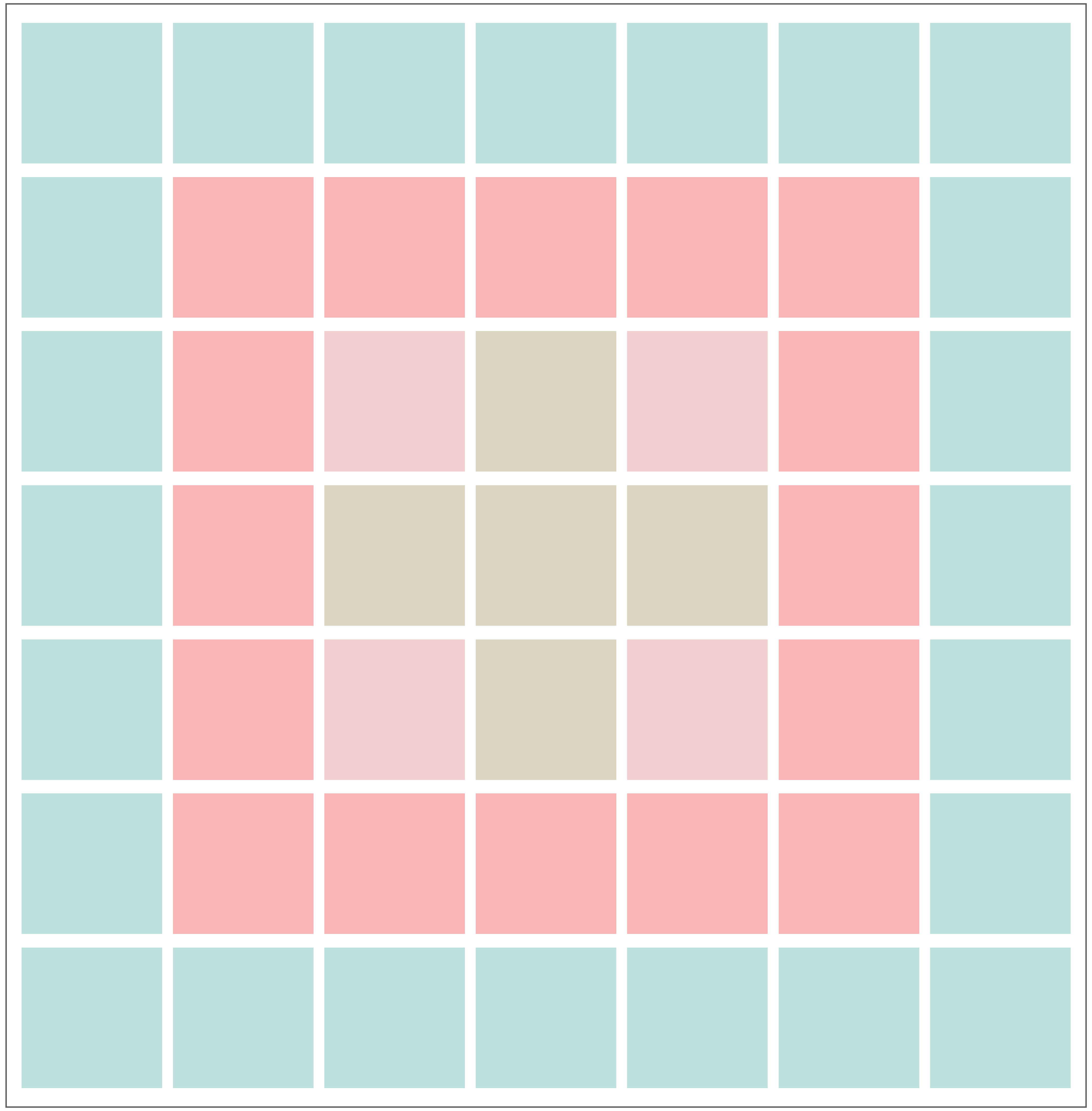
Ponto mais Próximo (Nearest)



Escolhemos o ponto mais próximo

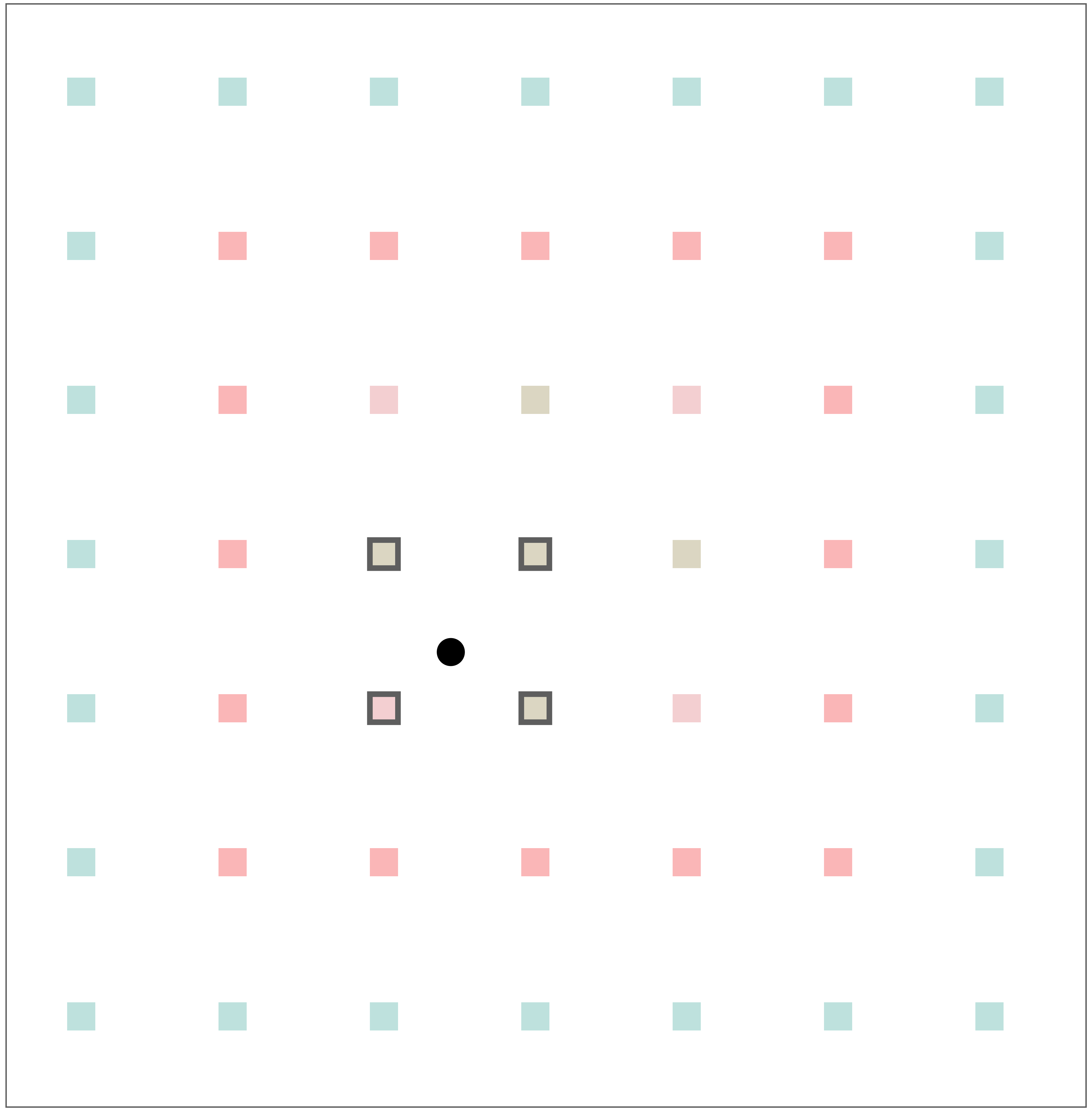
Se assemelha a… tratar os pixels como quadrados

Ponto mais Próximo (Nearest)



- Escolhemos o ponto mais próximo
- Se assemelha a… tratar os pixels como quadrados

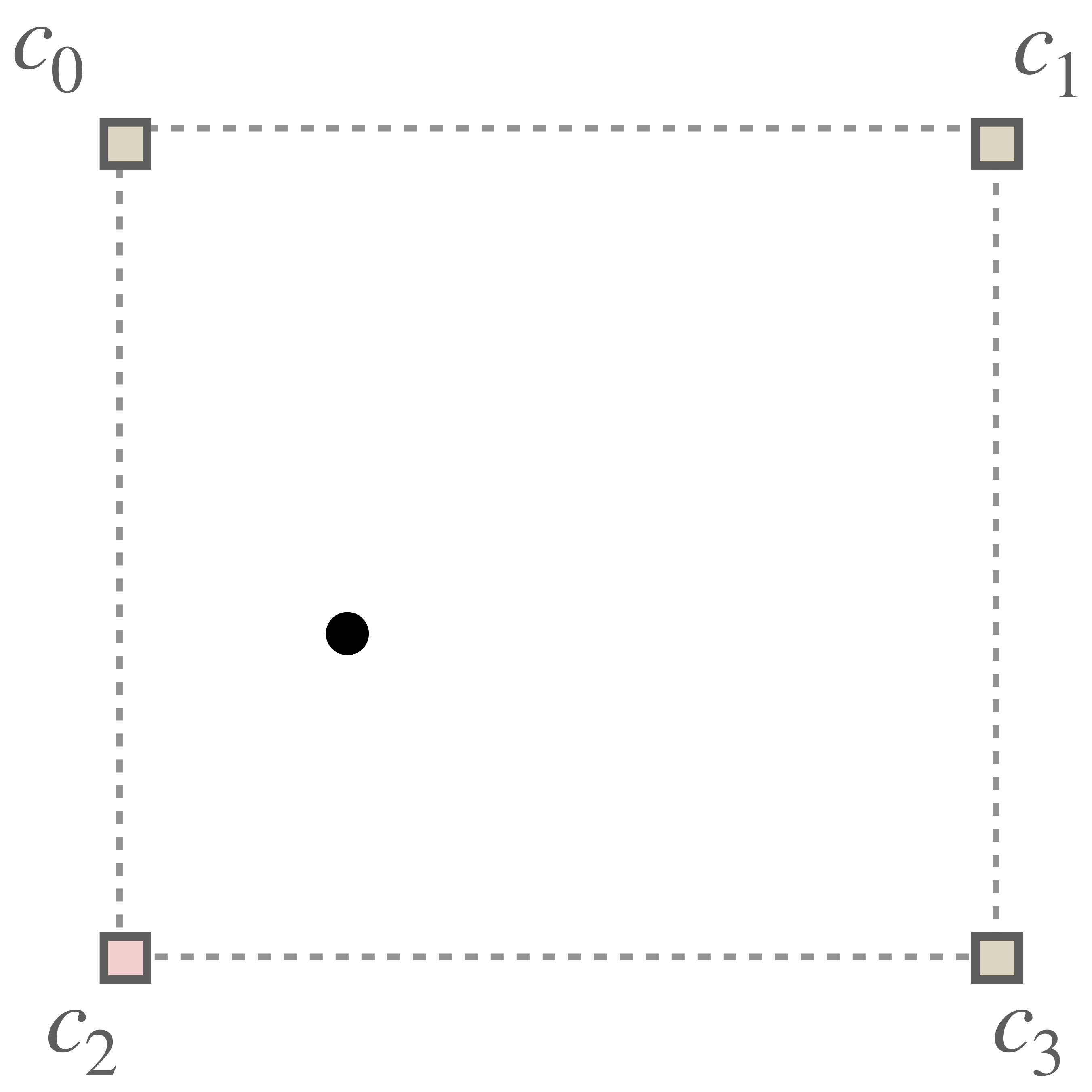
Interpolação Bilinear



Escolhemos os 4 pontos mais próximos!

Não é tão simples quando pegar o mais próximo mas também não é muito mais complexo

Interpolação Bilinear



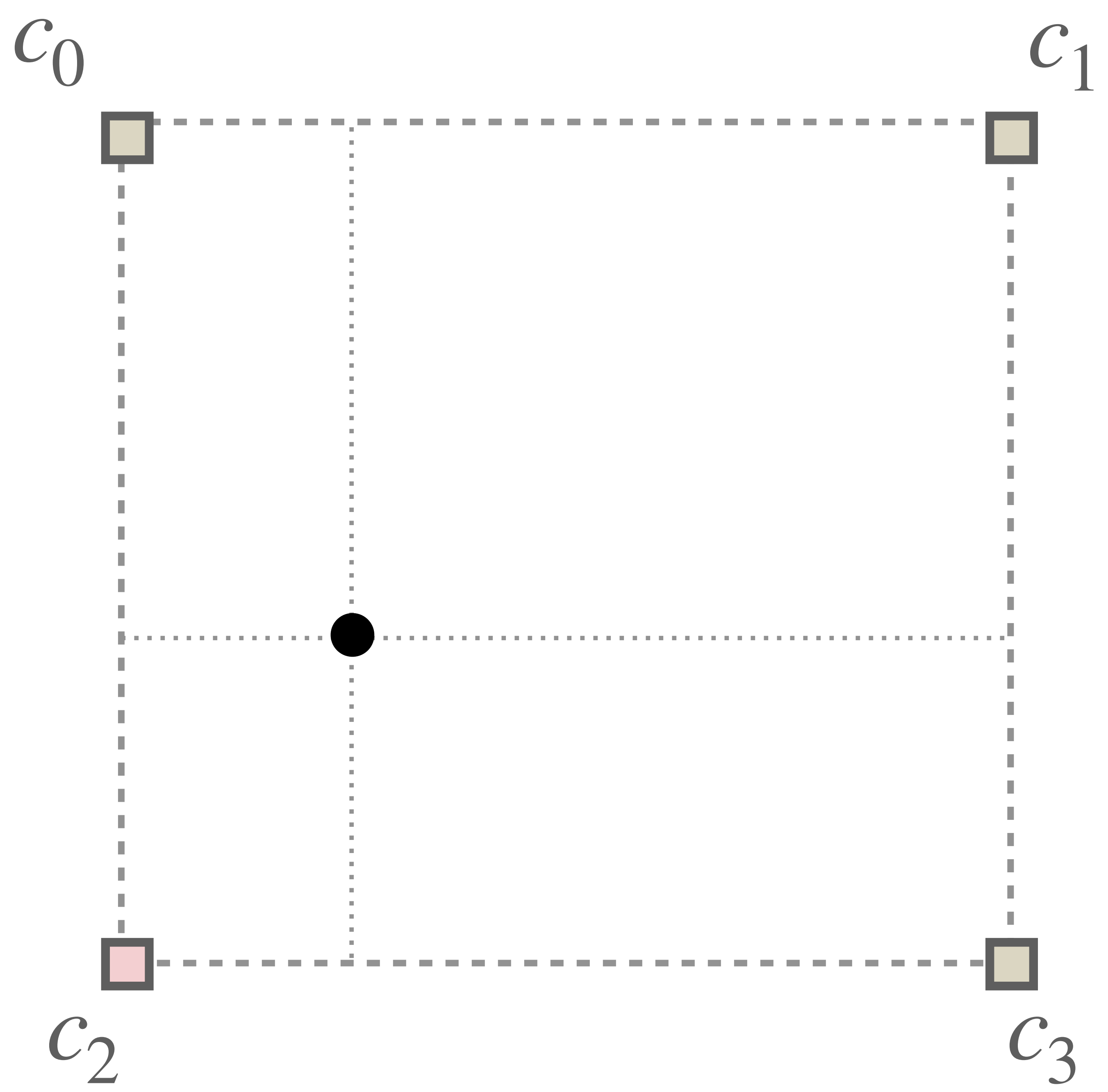
Escolhemos os 4 pontos mais próximos!

Não é tão simples quando pegar o mais próximo mas também não é muito mais complexo

Olhamos para a região formada pelos 4 pixels

Interpolação em duas dimensões

Interpolação Bilinear



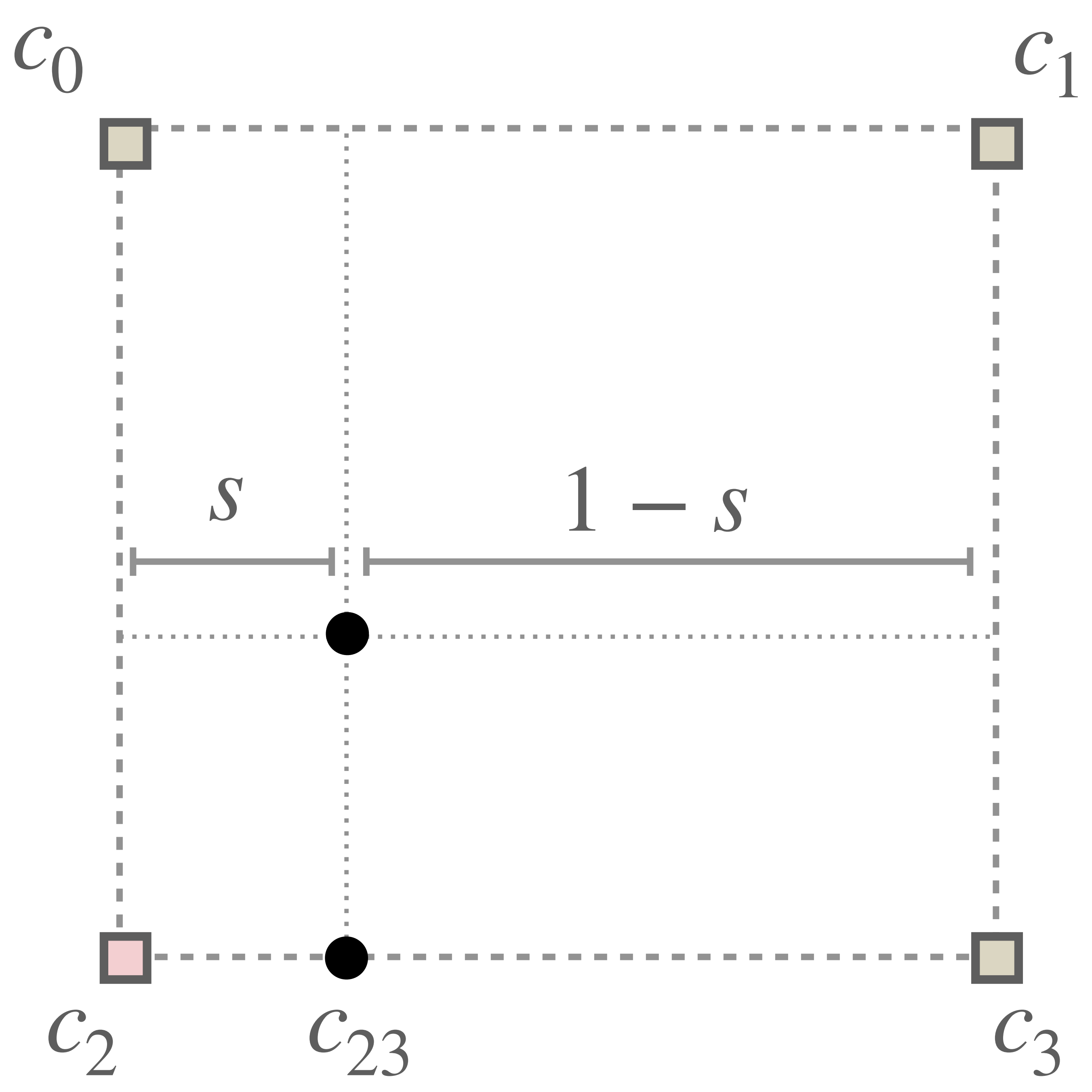
Escolhemos os 4 pontos mais próximos!

Não é tão simples quando pegar o mais próximo mas também não é muito mais complexo

Olhamos para a região formada pelos 4 pixels

Interpolação em duas dimensões

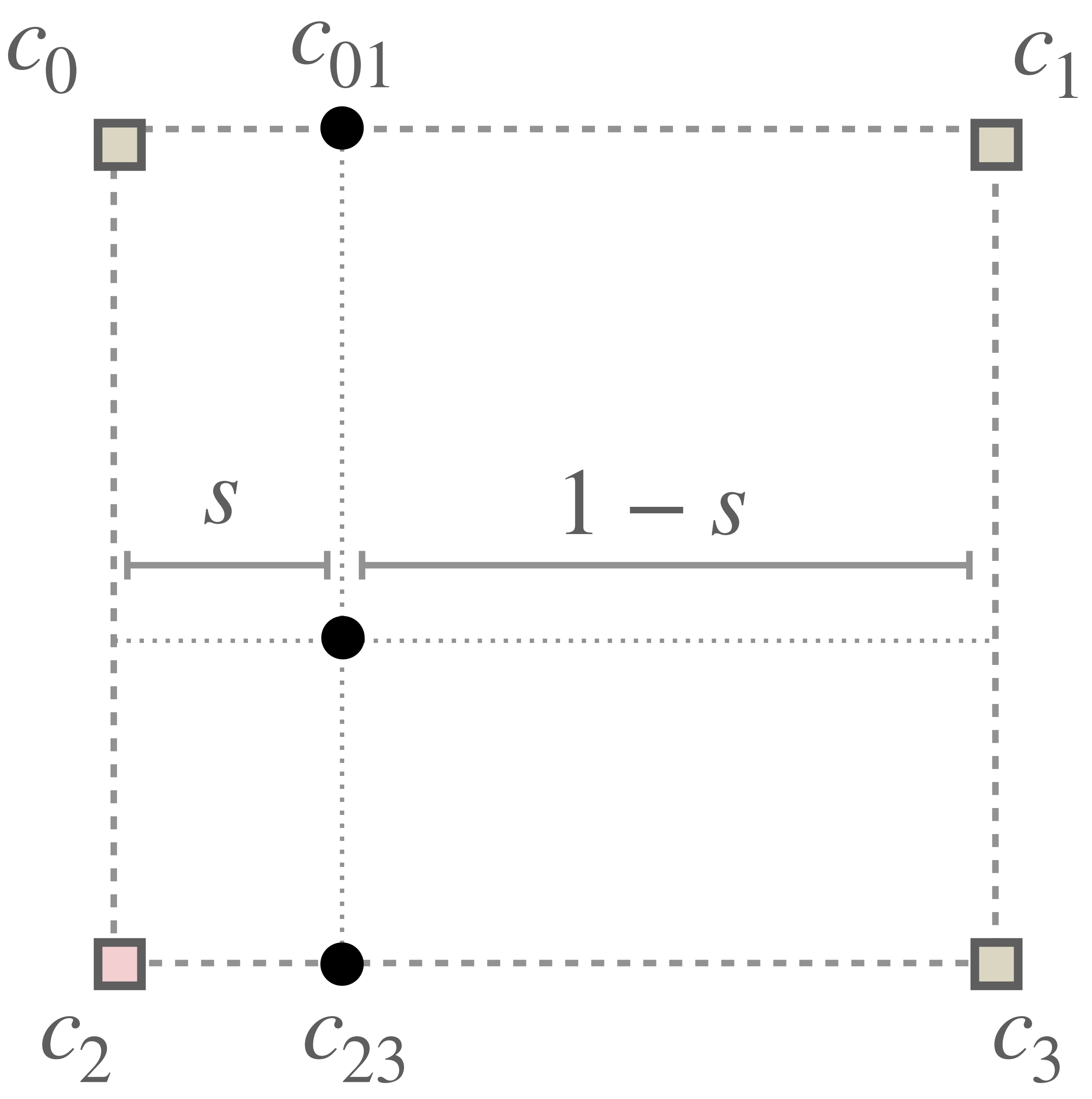
Interpolação Bilinear



$$c_{23} = (1 - s)c_2 + (s)c_3$$

- Escolhemos os 4 pontos mais próximos!
- Não é tão simples quando pegar o mais próximo mas também não é muito mais complexo
- Olhamos para a região formada pelos 4 pixels
- Interpolação em duas dimensões

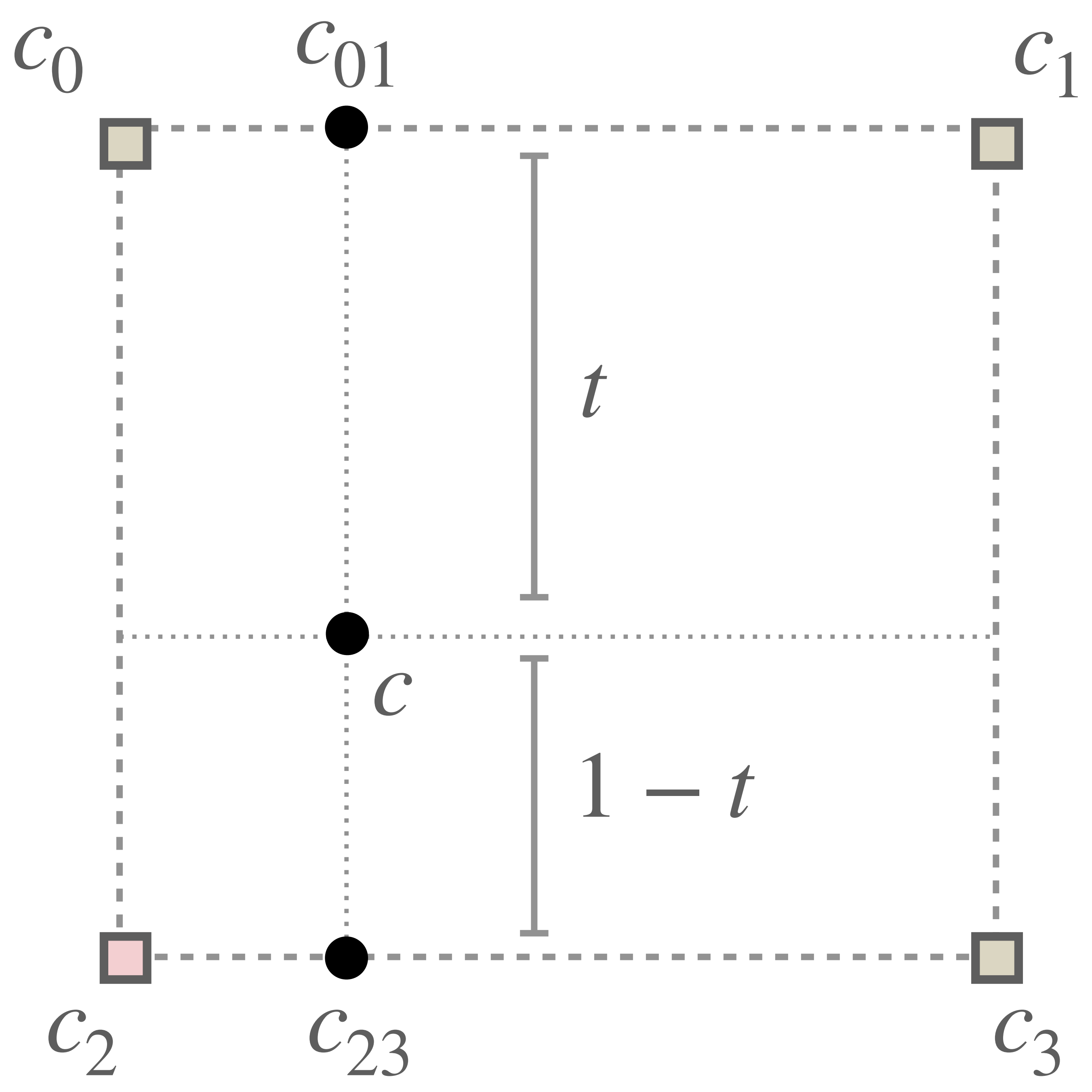
Interpolação Bilinear



$$c_{23} = (1 - s)c_2 + (s)c_3$$
$$c_{01} = (1 - s)c_0 + (s)c_1$$

- Escolhemos os 4 pontos mais próximos!
- Não é tão simples quando pegar o mais próximo mas também não é muito mais complexo
- Olhamos para a região formada pelos 4 pixels
- Interpolação em duas dimensões

Interpolação Bilinear



$$c_{23} = (1 - s)c_2 + (s)c_3$$
$$c_{01} = (1 - s)c_0 + (s)c_1$$
$$c = (1 - t)c_{01} + (t)c_{23}$$

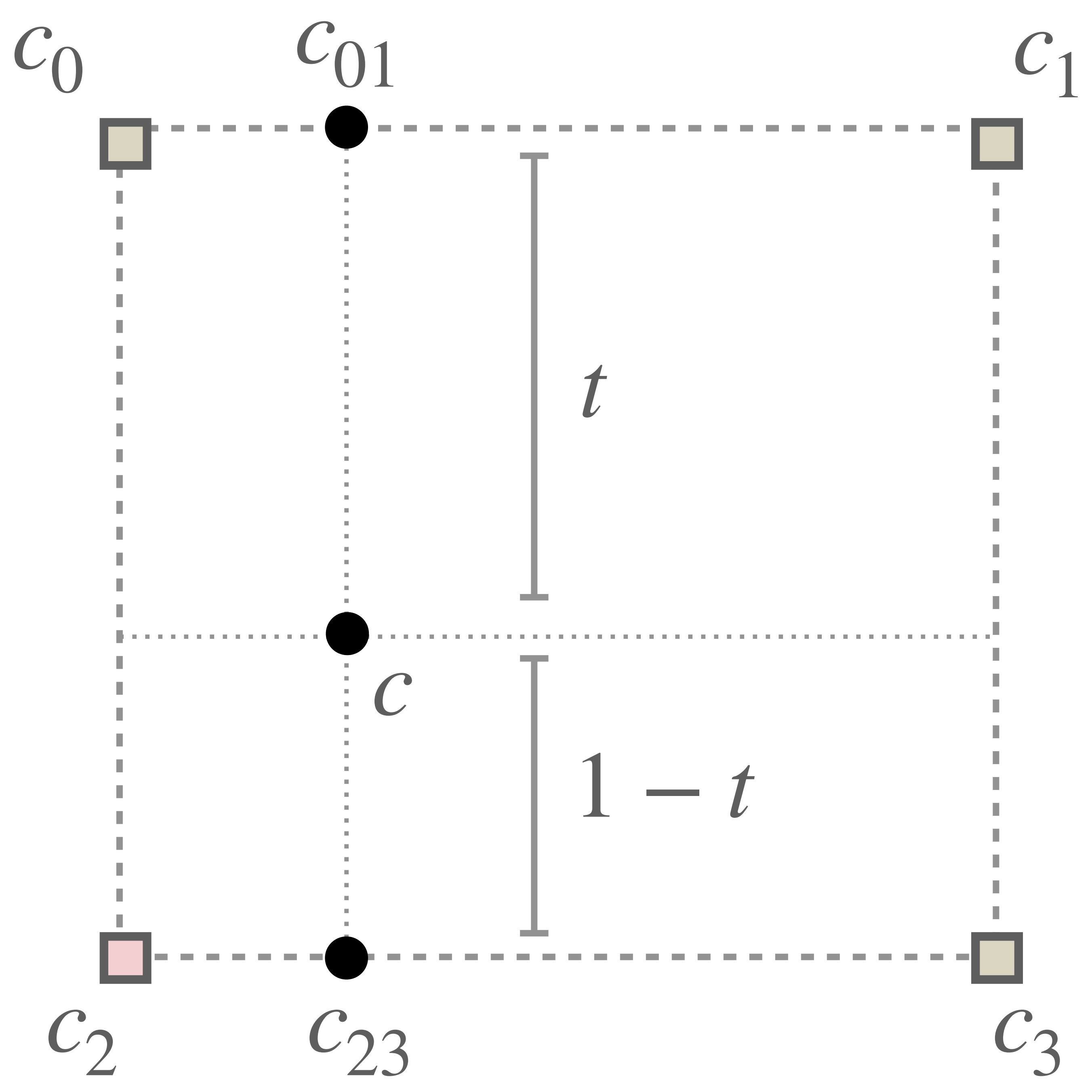
Escolhemos os 4 pontos mais próximos!

Não é tão simples quando pegar o mais próximo mas também não é muito mais complexo

Olhamos para a região formada pelos 4 texels

Interpolação em duas dimensões

Interpolação Bilinear



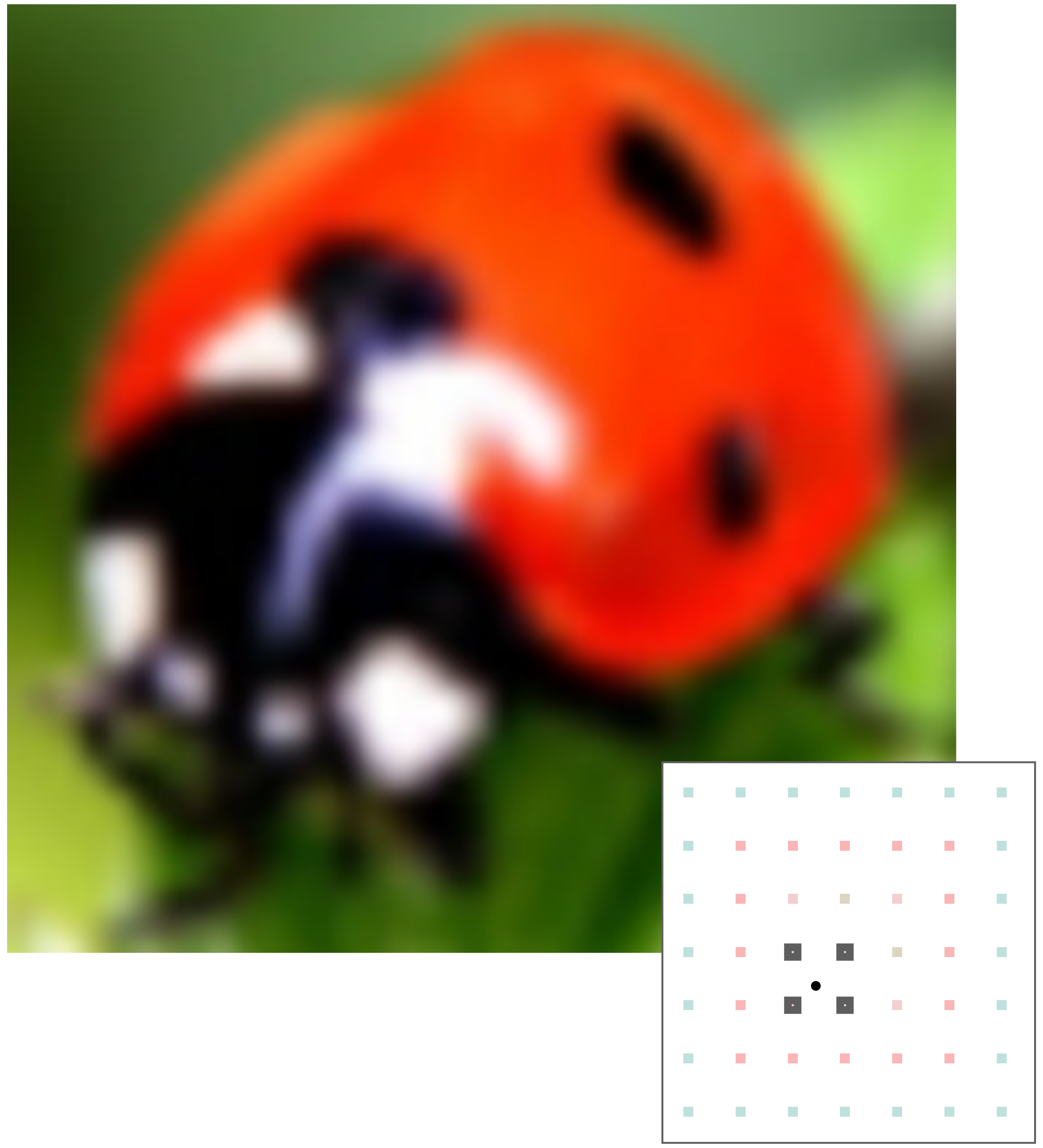
- Escolhemos os 4 pontos mais próximos!
- Não é tão simples quando pegar o mais próximo mas também não é muito mais complexo
- Olhamos para a região formada pelos 4 pixels
- Interpolação em duas dimensões
- Pode ser escrita em uma única equação

$$c = (1 - t)(1 - s)c_0 + (1 - t)(s)c_1 + (t)(1 - s)c_2 + (t)(s)c_3$$

Mais Próximo vs Bilinear

Mais Próximo

Bilinear

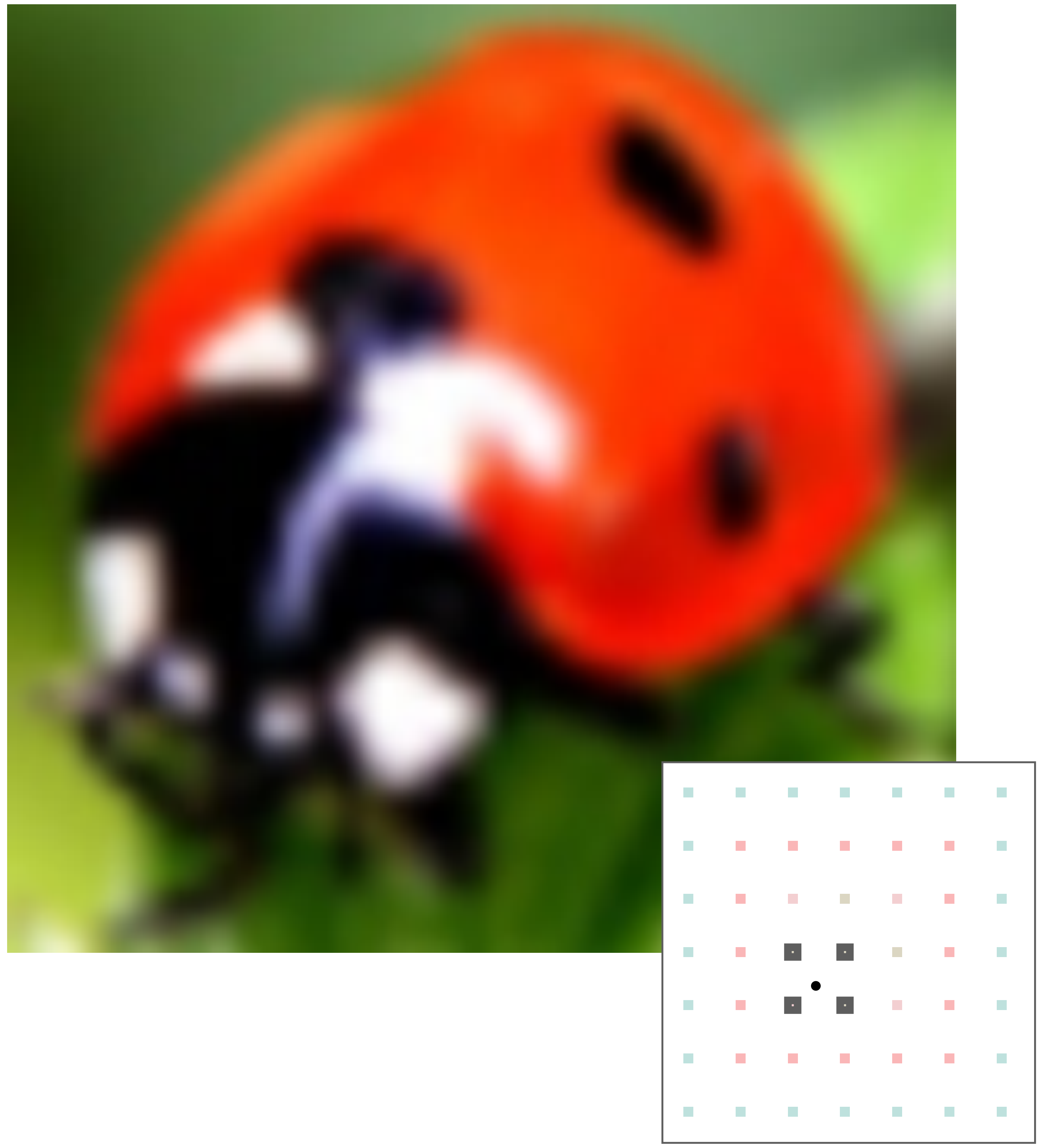


https://popartstudio.nl/Item.aspx?help=1&effect=Resize&lang=0

Mais Próximo vs Bilinear vs Bicúbico

Mais Próximo

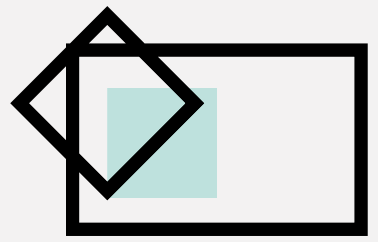
Bilinear



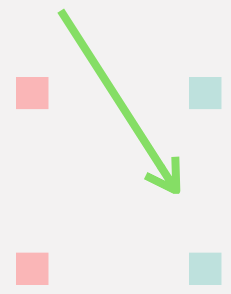
Bicúbico

https://popartstudio.nl/Item.aspx?help=1&effect=Resize&lang=0

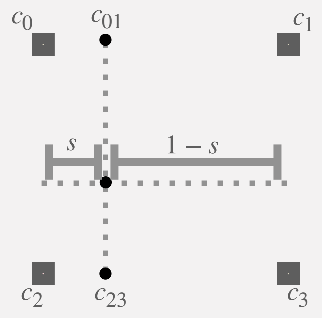
Agenda



Transformações Geométricas



Computação de Endereços



Interpolação

Referências

1. W. K. Pratt, Digital image processing: PIKS Scientific inside, 4. ed., Newly updated and rev. Ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2007.
2. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital image processing, Fourth edition. New York, NY: Pearson, 2018.
3. Introduction to Computer Graphics. Cem Yuksel. CS4600, University of Utah