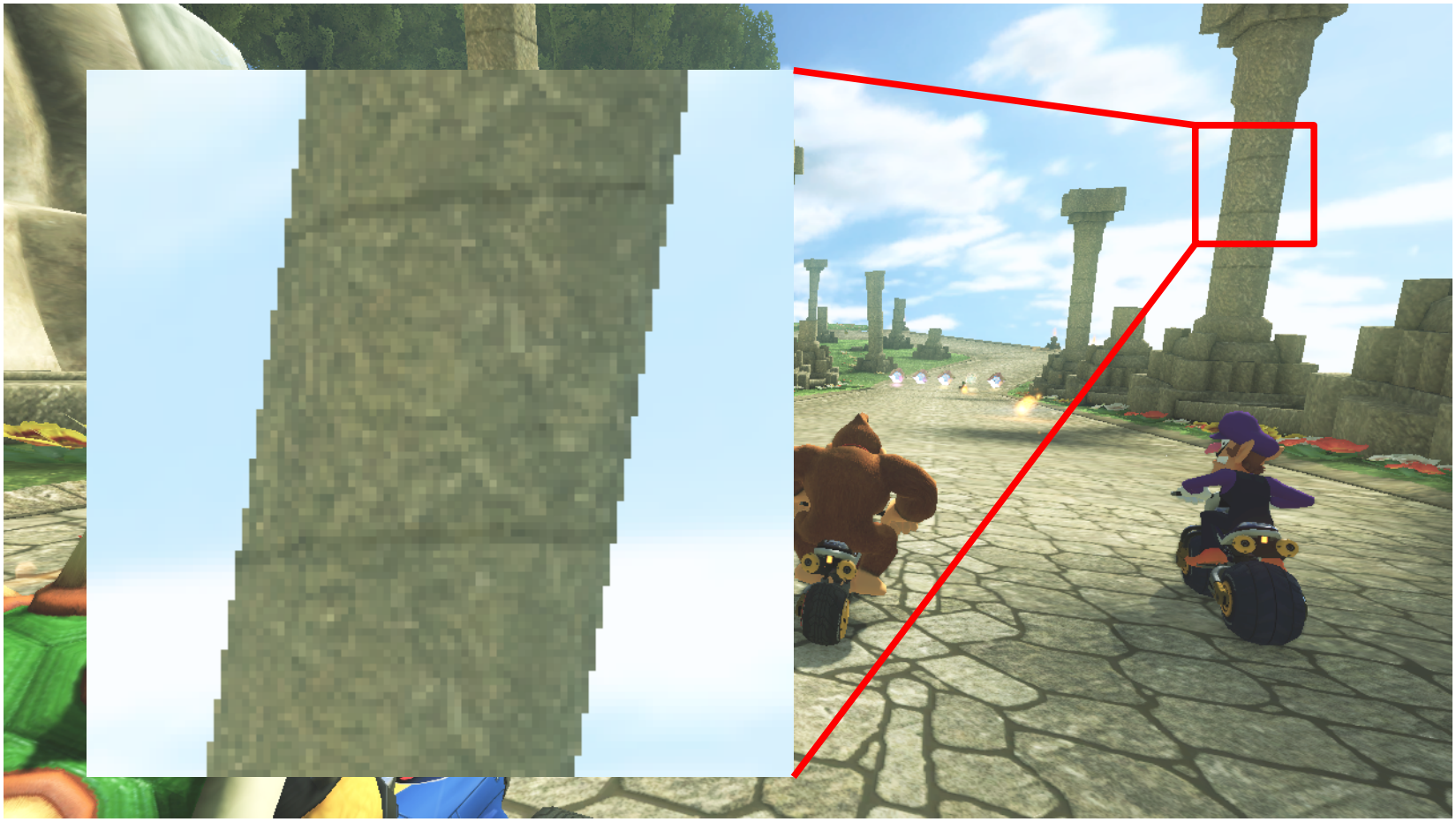
Processamento Digital de Imagens

Prof. Bogdan Tomoyuki Nassu

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Hoje

- *Anti-aliasing* para imagens geradas por computação gráfica.



Aliasing

- *Aliasing* (computação gráfica):
  - Ocorre porque imagens são discretas.
  - Efeito visível: a fronteira entre certos objetos parece “serrilhada”.

Anti-aliasing

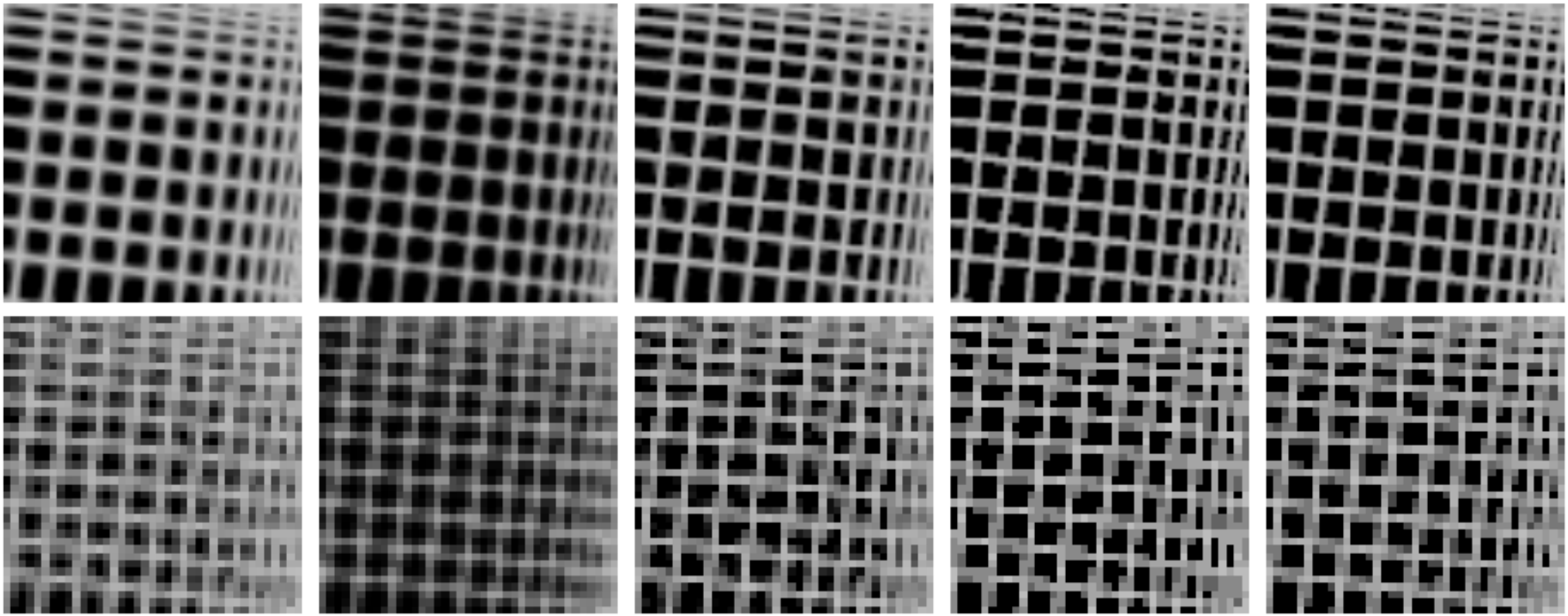
- *Anti-aliasing*:
  - Tem como objetivo atenuar a aparência serrilhada.
  - Conceito central: a cor dos pixels na fronteira entre dois objetos pode – se necessário – ser uma mistura das cores dos objetos.
- Superamostragem (*supersampling*):
  - SSAA (*supersampling anti-aliasing).*
  - Renderizar a cena em uma resolução maior do que a final, reduzindo a imagem usando interpolação.
  - A técnica que produz os melhores resultados visíveis.
  - Alto custo computacional.
  - Muito usada quando o resultado não é apresentado em tempo real.
    - Ex: animações para cinema.

Anti-aliasing

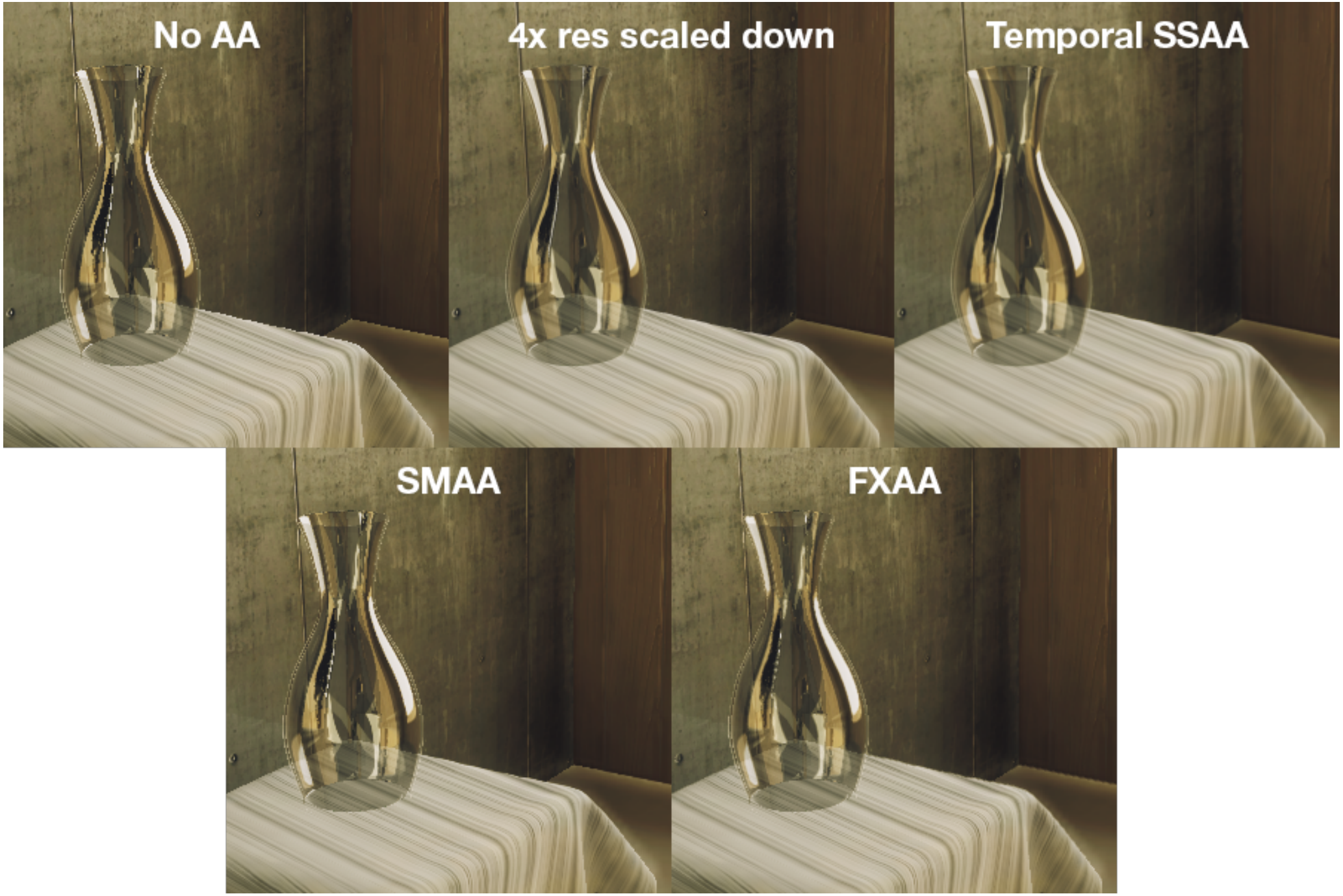
- A maior parte das técnicas de anti-aliasing envolve a amostragem de pontos extras, no tempo ou no espaço.
  - Estas técnicas são aplicadas durante a renderização, e não são do nosso interesse nesta disciplina.
- *Post-processing anti-aliasing:*
  - Categoria de técnicas que fazem o anti-aliasing após a renderização.
    - = resolver o problema, em vez de evitá-lo!
  - Geram a imagem já com a resolução final.
  - Normalmente, são mais rápidas que outros tipos de técnica.
  - Exemplos: *fast approximate anti-aliasing* (FXAA) da Nvidia, *morphological anti-aliasing* (MLAA) da AMD.
- Hoje, criaremos uma técnica (muito) simples para *post-processing anti-aliasing*.

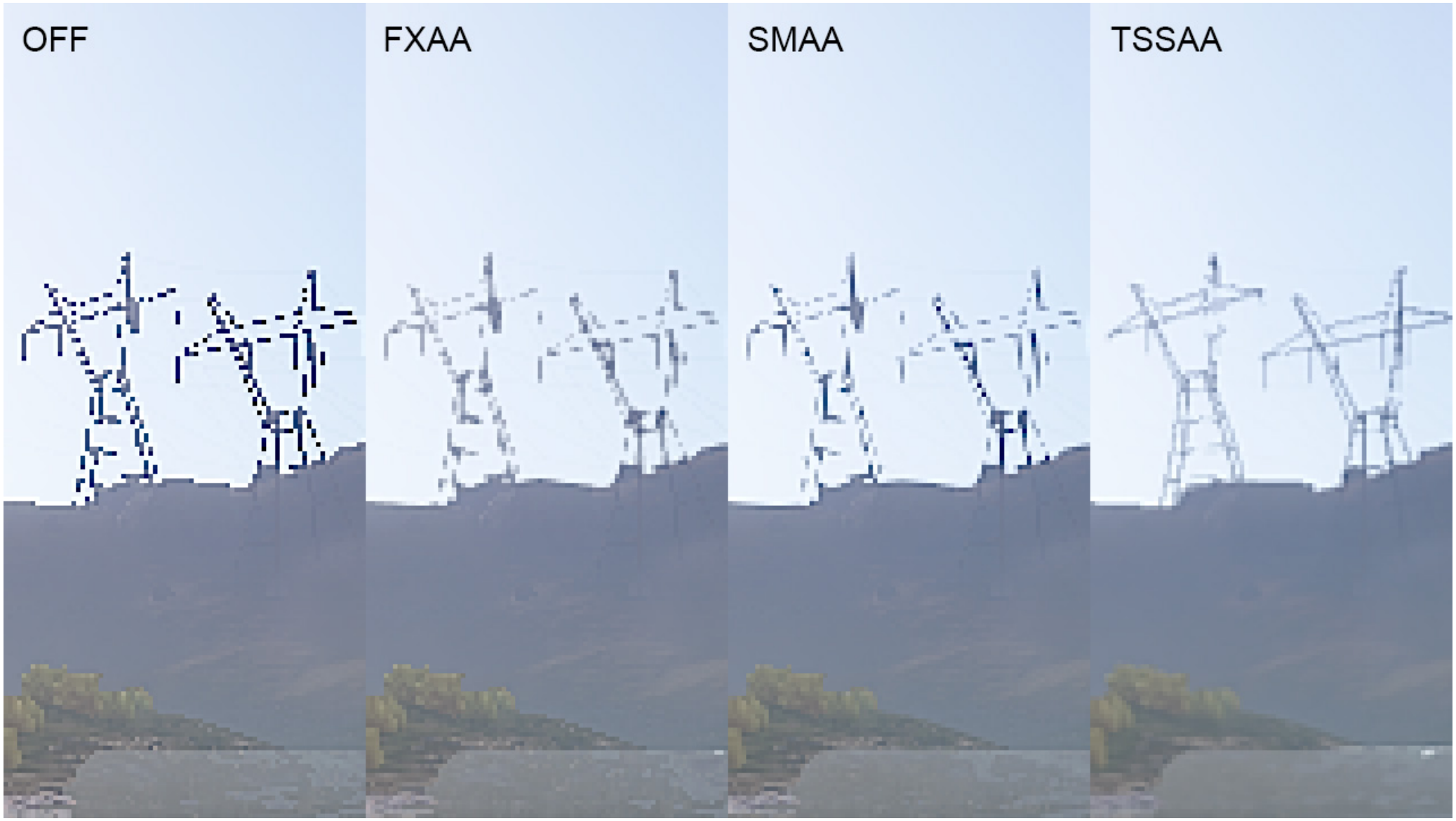
Sem anti-aliasing...

MSAA x8



MLAA FXAA SMAA 4x MSAA 4x MSAA 8x


No AA
4x res scaled down
Temporal SSAA
SMAA
FXAA


OFF
FXAA
SMAA
TSSAA

4K TAA
4K DLSS

Ideia #0

- As técnicas de anti-aliasing envolvem misturar o valor dos pixels.
- Já vimos formas de misturar o valor de pixels...
  - Quais?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Ideia #0

- As técnicas de anti-aliasing envolvem misturar o valor dos pixels.
- Já vimos formas de misturar o valor de pixels...
  - Filtro da média.
  - Filtro Gaussiano.
- Ideia #0: borrar a imagem.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Box blur 3x3

Gaussian blur 3x3 (é bem parecido!)

Comparando...

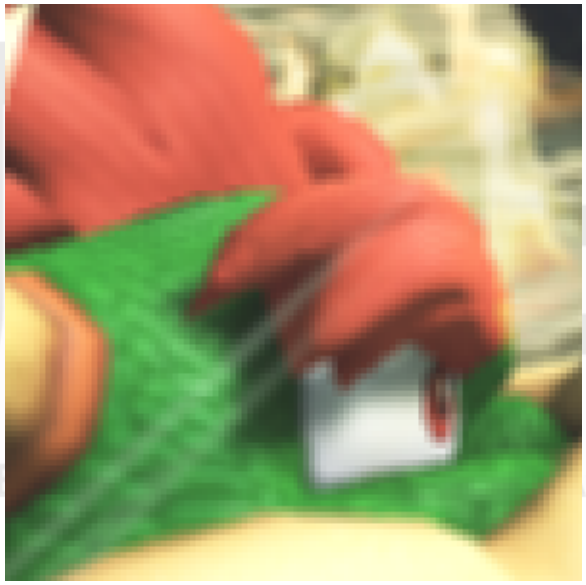
Original

Box blur 3x3

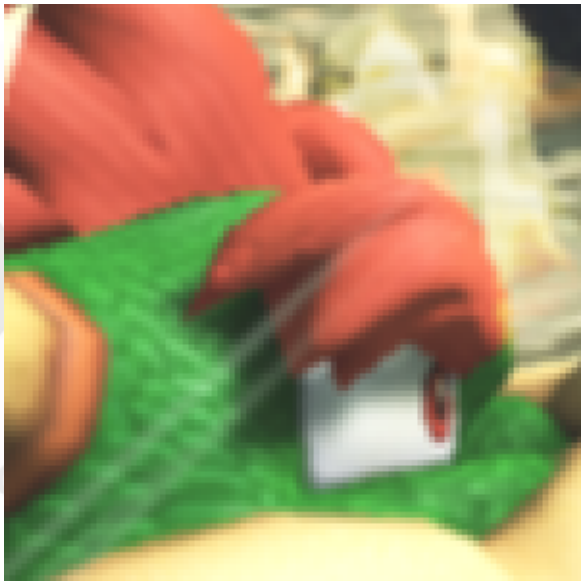
Filtro Gaussiano 3x3

Comparando...

Original



Box blur 3x3



Filtro Gaussiano 3x3

Problema?

- Borrar a imagem inteira atenua, os serrilhados, mas acaba suavizando (ou removendo!) **TODOS** os detalhes!
- Voltando ao conceito central do anti-aliasing:
  - A cor dos pixels na fronteira entre dois objetos pode – ***se necessário*** – ser uma mistura das cores dos objetos.

Quando é "necessário"?

Ideia melhorada

- Ideia melhorada: borrar a imagem apenas em algumas regiões.
- Como saber quais regiões devem ser borradas?

Ideia melhorada

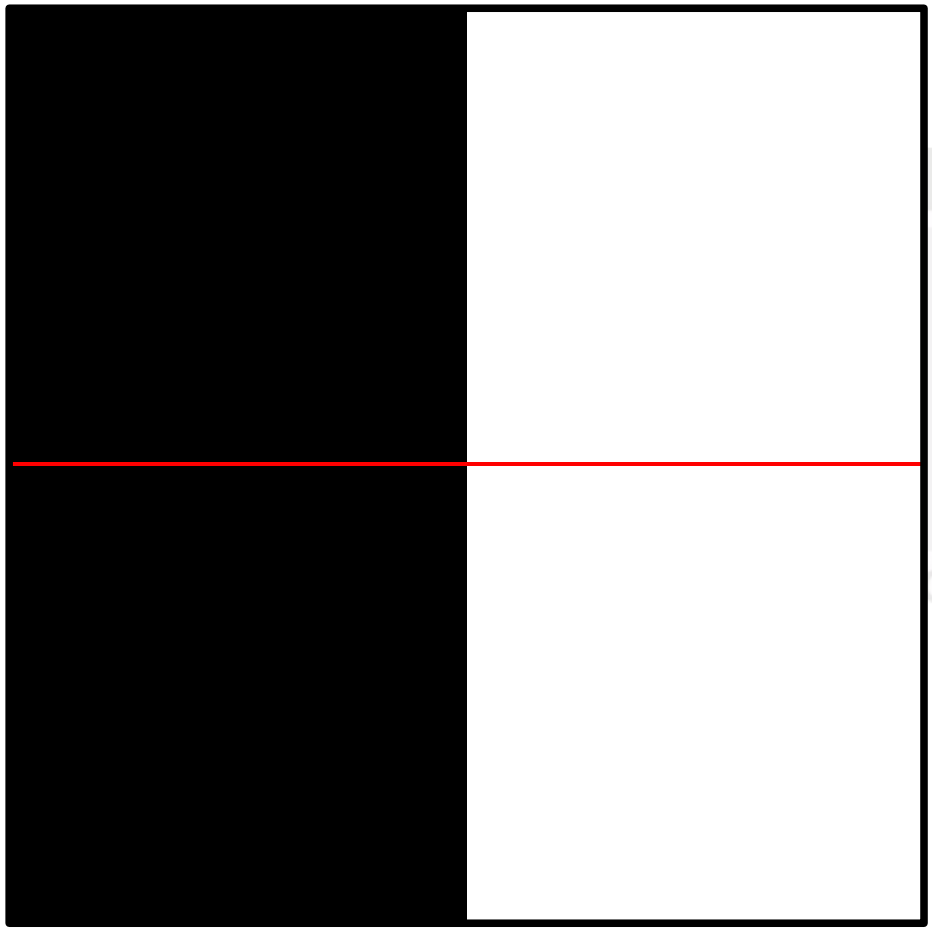
- Ideia melhorada: borrar a imagem apenas em algumas regiões.
- Como saber quais regiões devem ser borradas?
  - De forma geral, o aliasing é visível em regiões de contraste forte.
- Utilizaremos dois conceitos: ***bordas*** e ***gradientes***.
- O conceito de bordas está enraizado no sistema visual humano.
  - Mesmo crianças pequenas conseguem identificar objetos com base somente em contornos.
- Nota: primeiro, considere apenas imagens em escala de cinza.

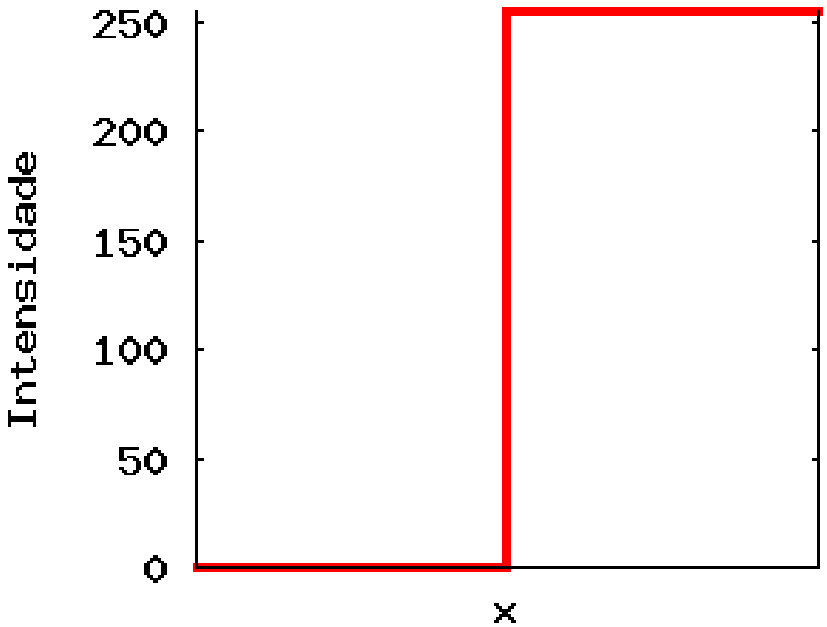
Bordas?

- Estranhamente, o termo não tem uma definição exata!!!
  - Visualmente, tem relação com a fronteira entre objetos ou superfícies.
  - As definições usadas em processamento de imagens levam em consideração descontinuidades na intensidade.

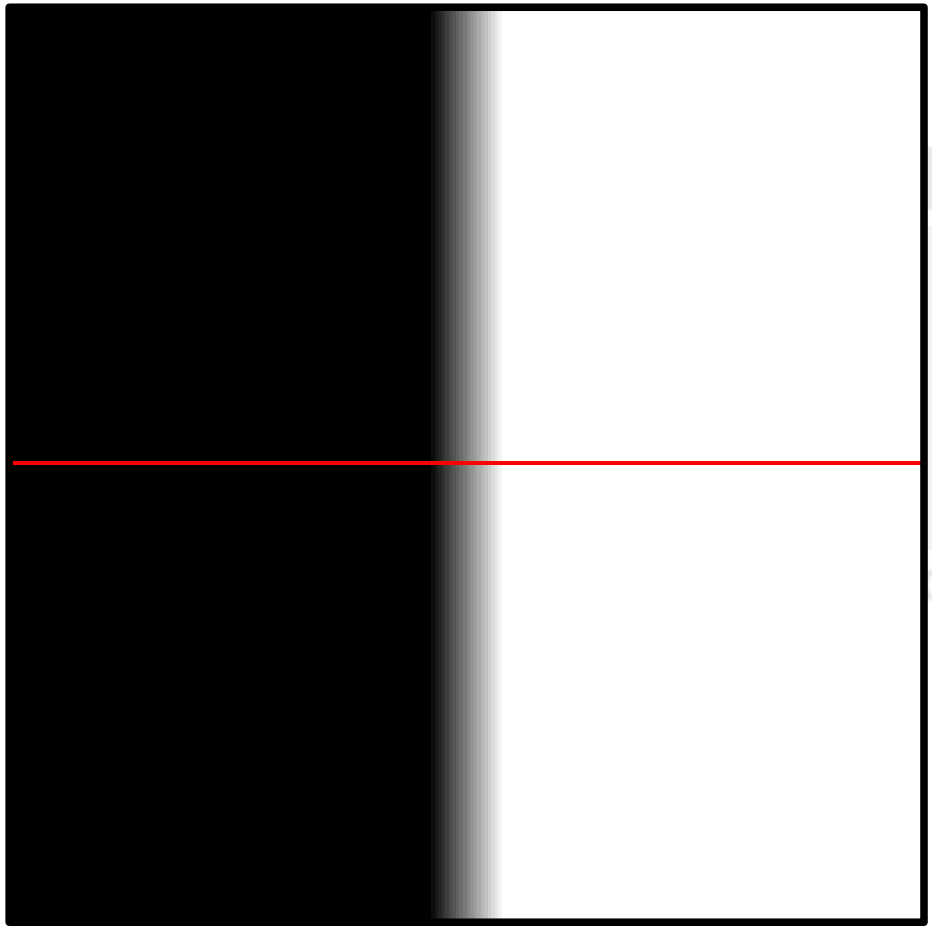
O computador talvez não enxergue como nós...

Descontinuidades



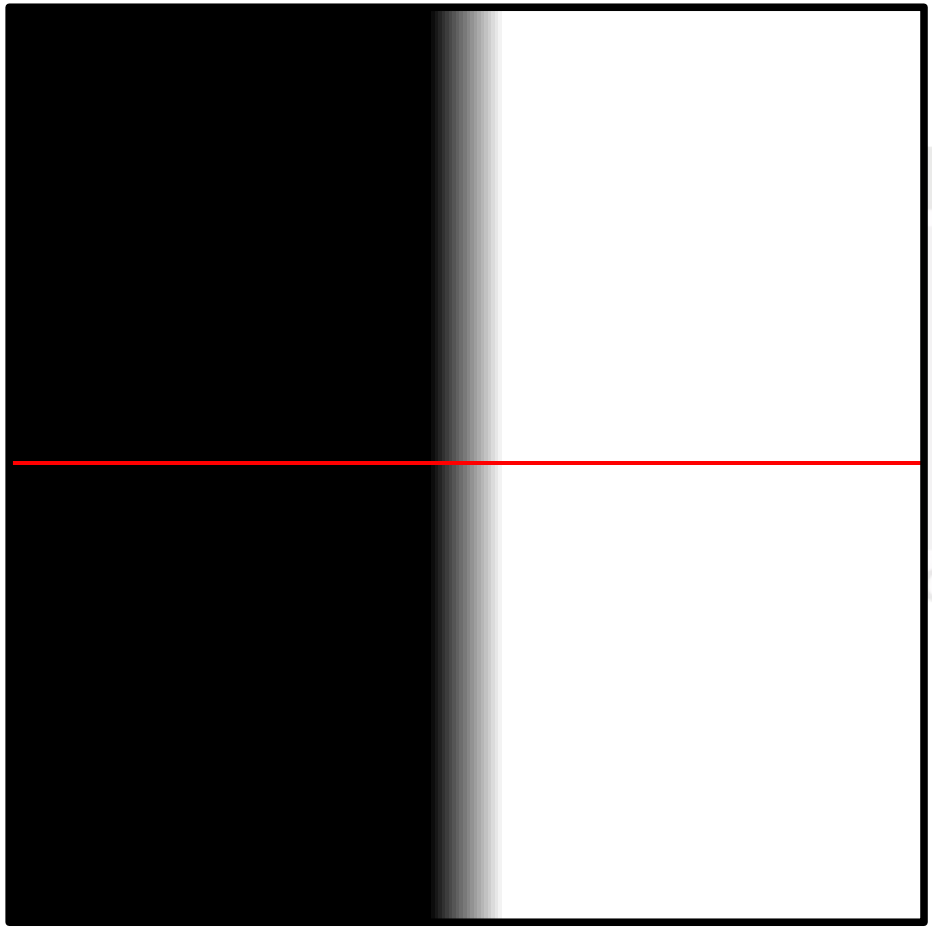


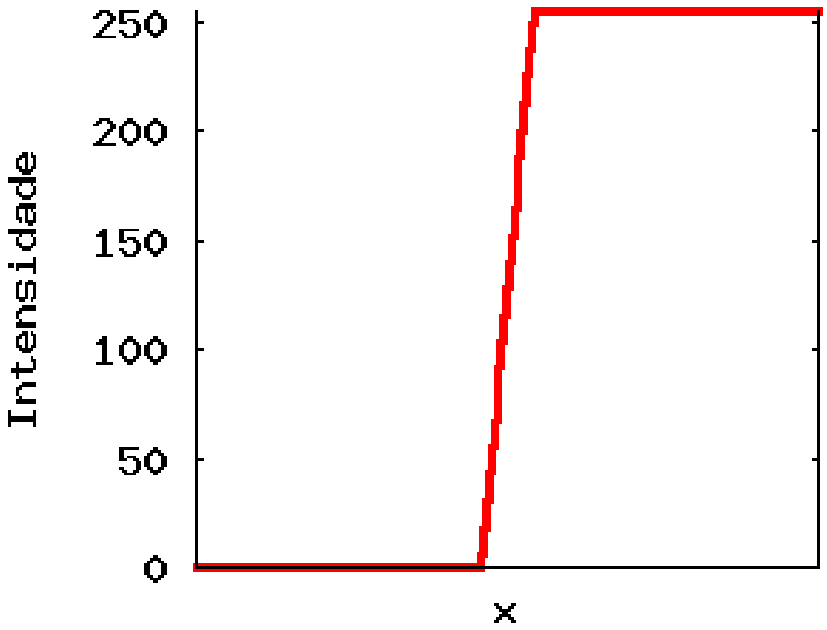
Descontinuidades



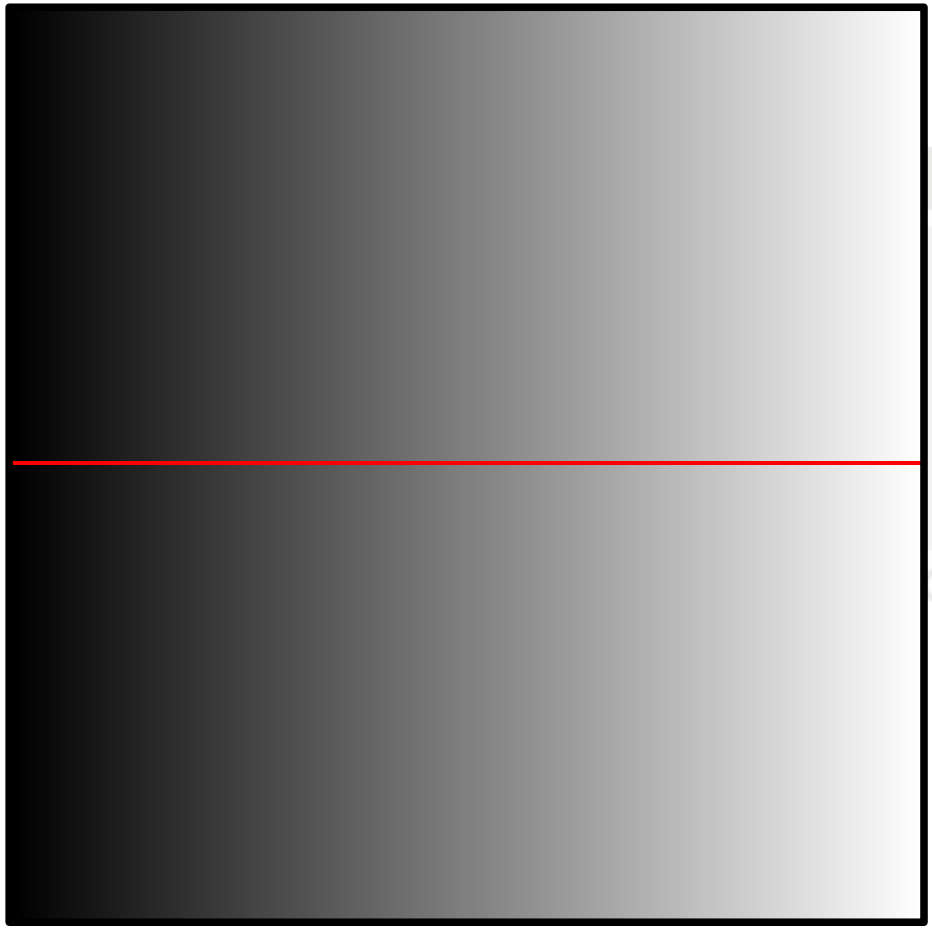
UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Descontinuidades



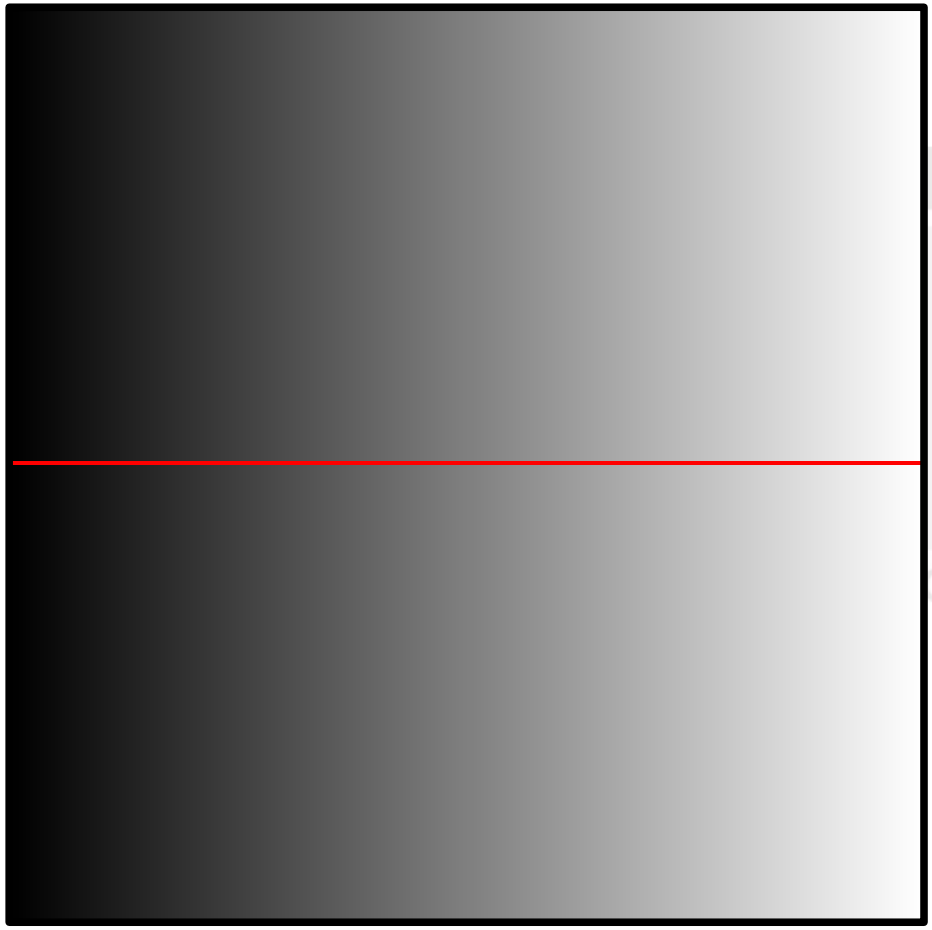


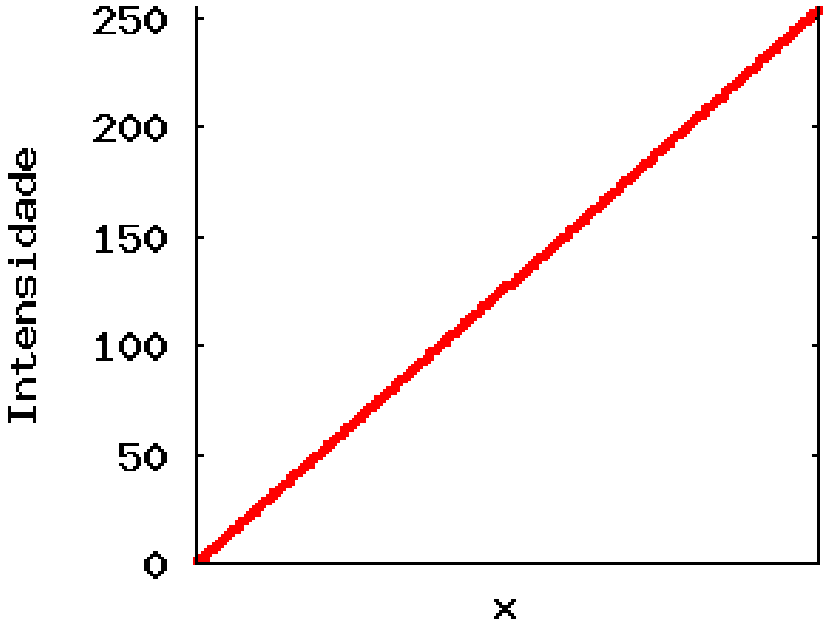
Descontinuidades



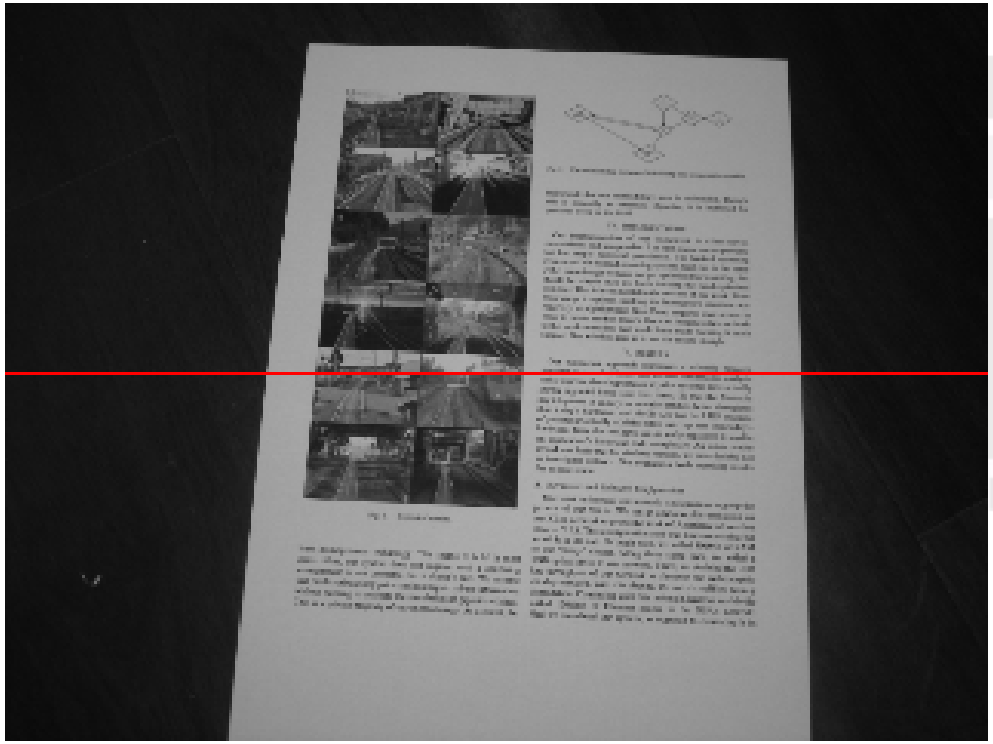
UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

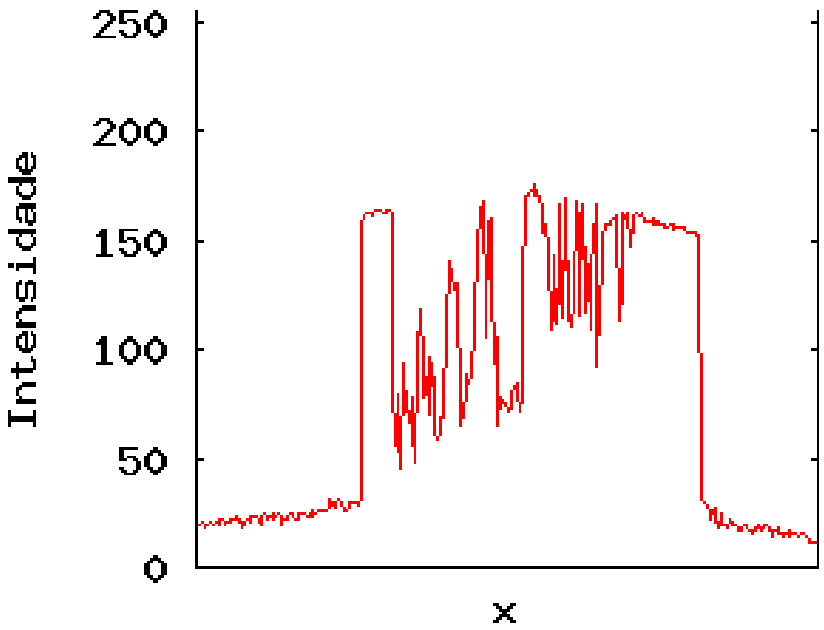
Descontinuidades



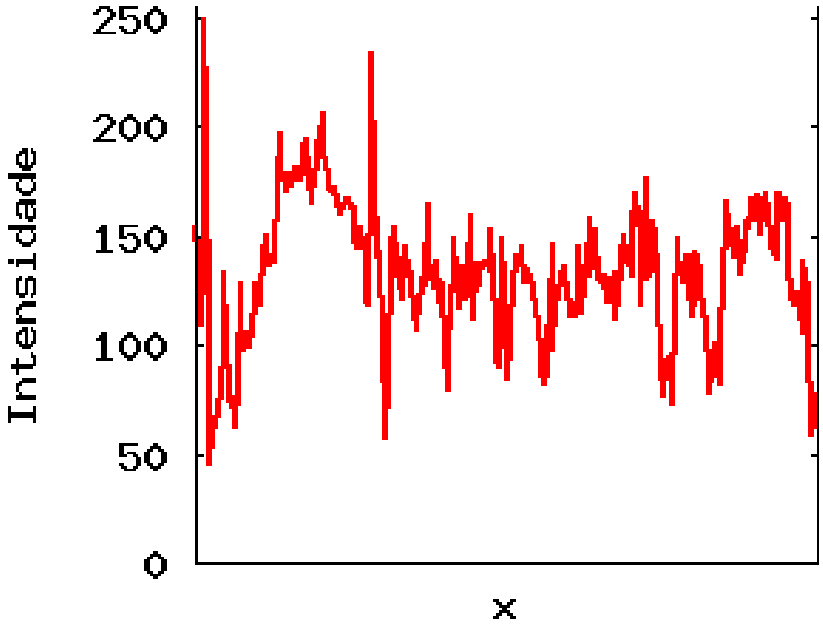


Descontinuidades





Descontinuidades

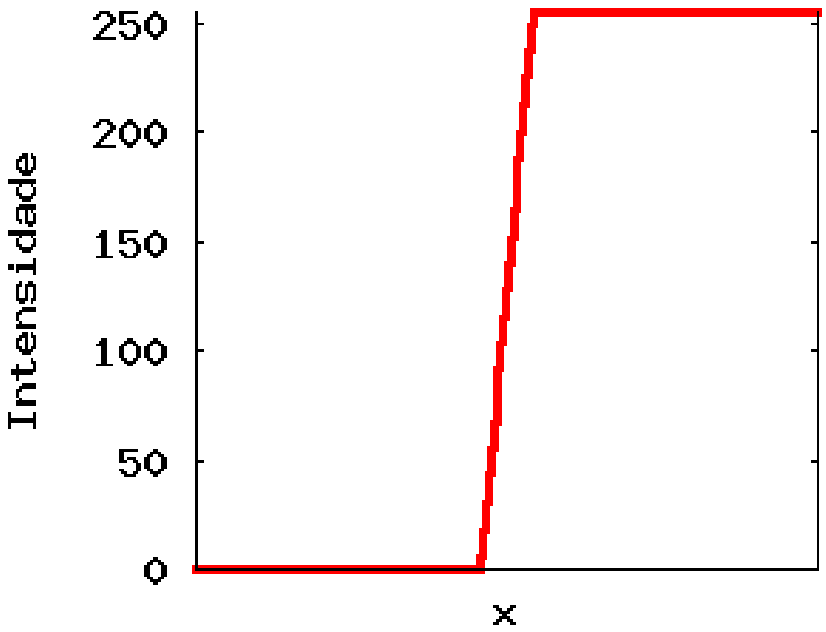


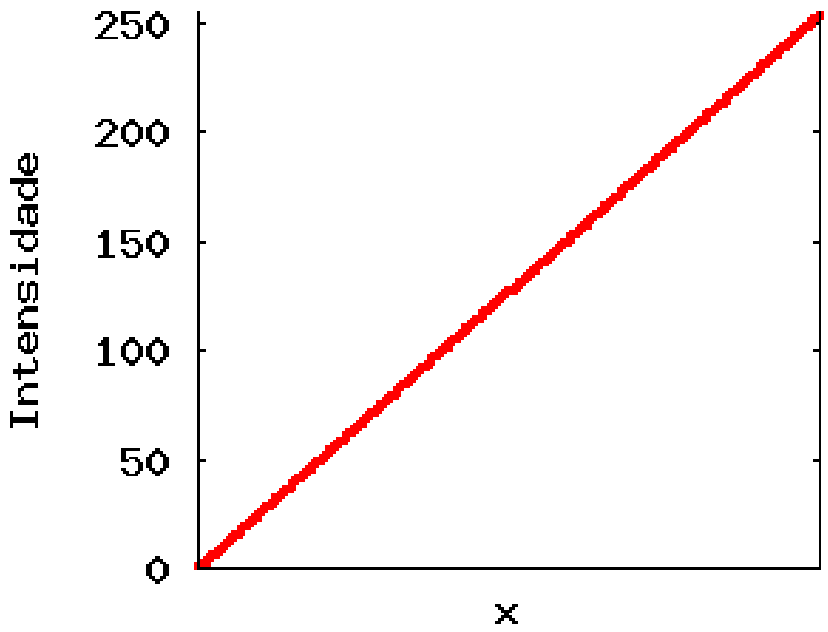
Como medir descontinuidades?

- É muito difícil criar um algoritmo que detecte bordas da mesma forma que fazemos em nossos cérebros!
  - Em seres humanos, o processo é retroalimentado, com a interpretação da cena nos ajudando a detectar (e adivinhar!) bordas.
  - Aqui, a extração das bordas será um passo em um “pipeline”.
    - As bordas são extraídas independentemente do significado da cena.
    - Não há “retorno”.
    - Não diferenciamos descontinuidades causadas por:
      - Fronteiras entre objetos.
      - Fronteiras entre regiões de um mesmo objeto.
      - Padrões de textura.
      - Variações de iluminação.
- Normalmente, o que se faz é medir localmente as descontinuidades.
  - Medir localmente = analisar vizinhanças.

Como medir descontinuidades?

- Comece pensando em 1D.





Como sabemos que existe uma borda no primeiro caso, mas não no segundo?

DERIVADAS

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Derivadas de uma imagem

- Gradiente: aplicação do conceito de derivada em mais de uma dimensão.
- Um ponto de descontinuidade (borda) é aquele cujo gradiente tem um valor muito alto ou baixo.
- Como podemos medir os gradientes de uma imagem?
  - Dica: comece novamente pensando em uma função 1D.
  - Dica: lembre-se que a imagem é uma função discreta.

Medindo os gradientes

- Para obter os gradientes de uma imagem, precisamos extrair componentes (derivadas) horizontais e verticais.
- Podemos fazer isso usando filtros espaciais lineares.
  - Quais?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Medindo os gradientes

- Para obter os gradientes de uma imagem, precisamos extrair componentes (derivadas) horizontais e verticais.
- Podemos fazer isso usando filtros espaciais lineares.

-1	1

Kernel horizontal

-1
1

Kernel vertical

- Os kernels acima não têm centro definido, então normalmente usam-se os seguintes kernels:

-1	0	1

Kernel horizontal

-1
0
1

Kernel vertical

Medindo as derivadas

- Nota 1: Formalmente, precisaríamos dividir os valores por 2.
  - Como isso não muda a lógica dos algoritmos, na prática, o normal é manter os valores assim mesmo.
- Nota 2: Você pode encontrar estes filtros com os sinais invertidos.
  - Qual seria o efeito disso?

-1	0	1

Kernel horizontal

-1
0
1

Kernel vertical

- Vejamos alguns exemplos!
  - Aviso: como as derivadas podem ter valores negativos, vamos remapear os valores para o intervalo [0,1].

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo

Imagem original

Dx

Dy

Note que o filtro horizontal “reage” a bordas verticais, e vice-versa!

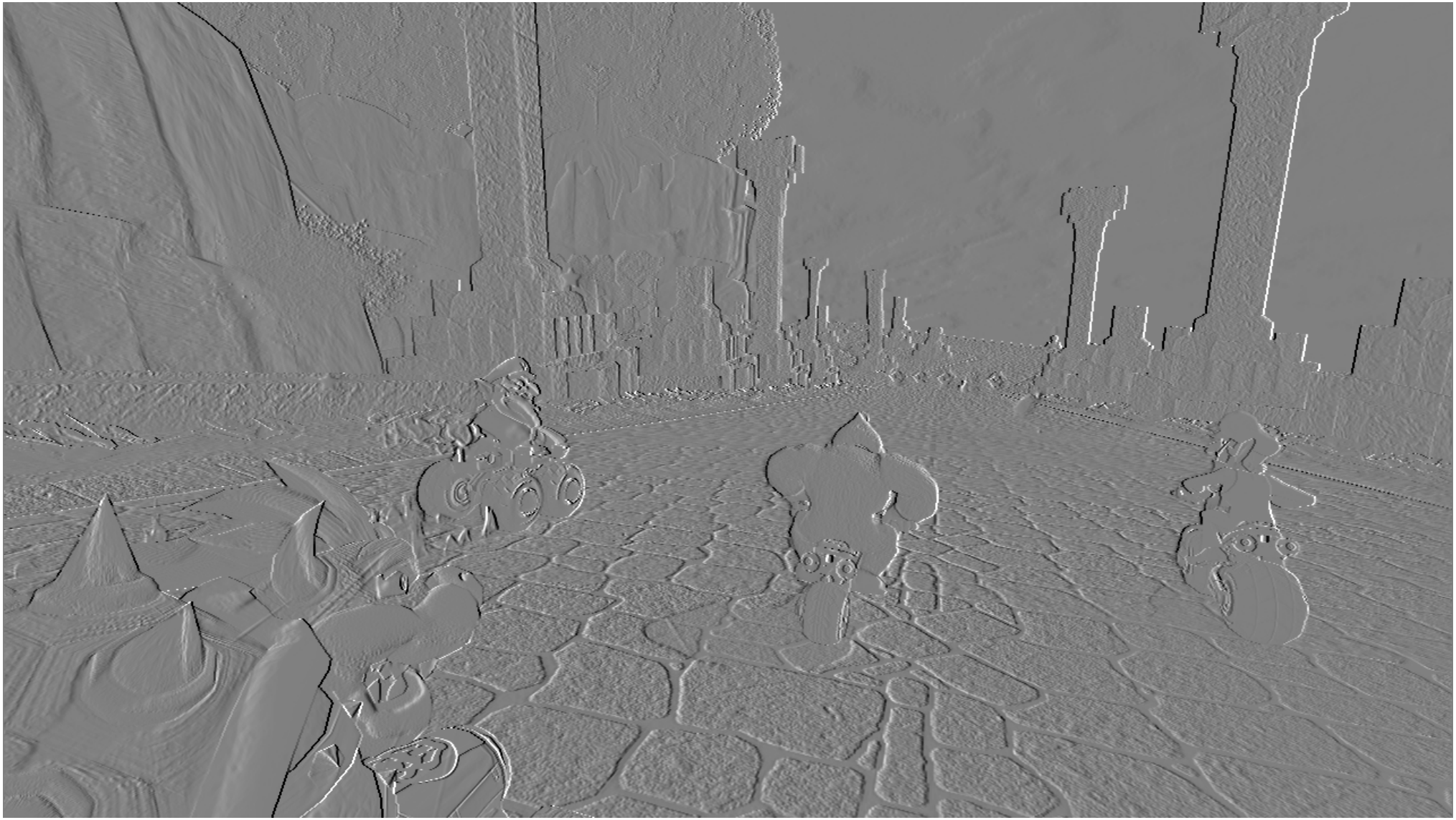
UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo

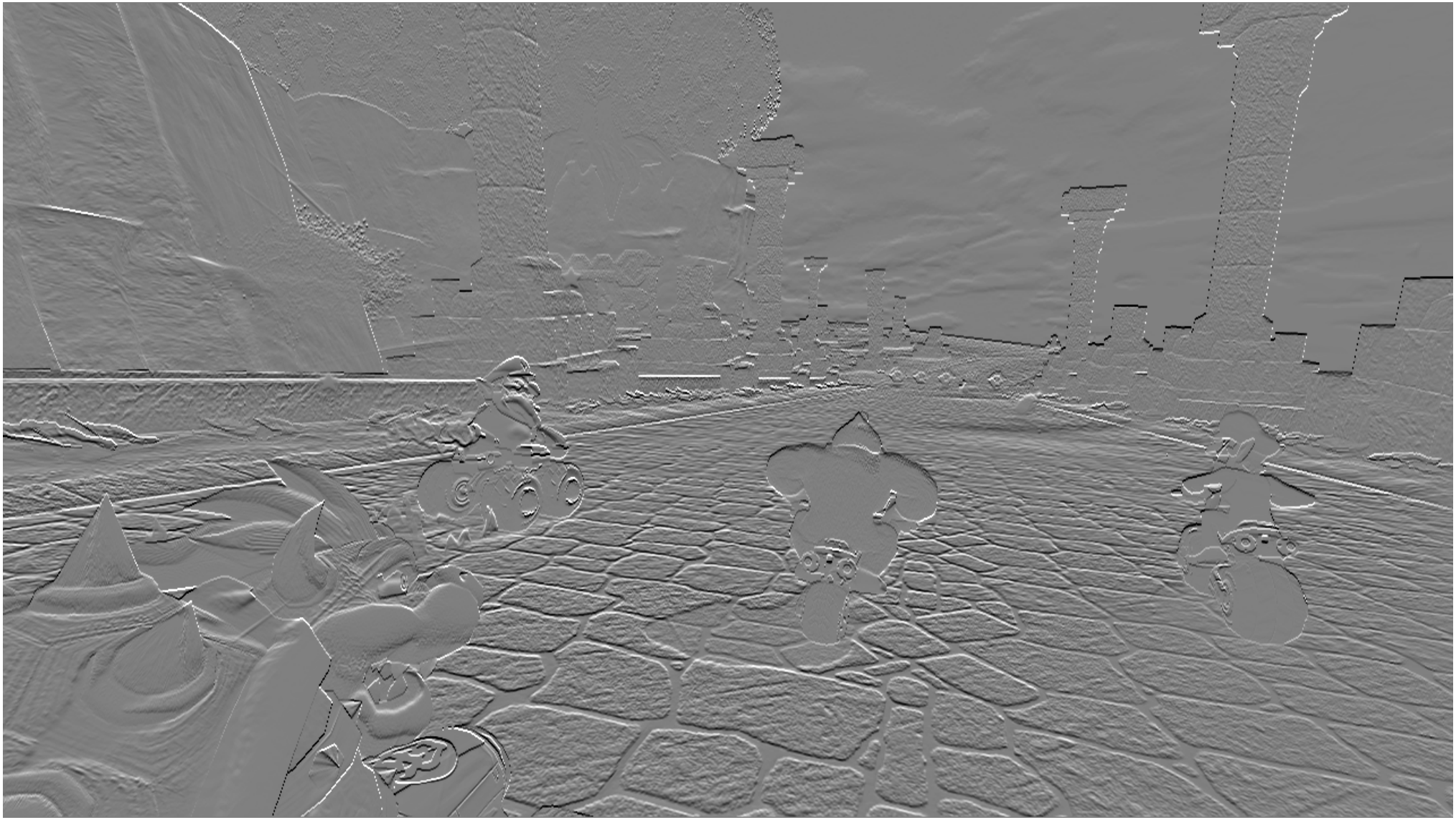
Imagem original

Dx

Dy



Dx



Dy

Filtros de Prewitt

- Os filtros 3x1 e 1x3 ainda são sensíveis a ruídos.
- Os filtros de Prewitt procuram aumentar a robustez a ruídos.
  - É como a borrar a imagem dos gradientes.

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Horizontal

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

Vertical

Filtros de Sobel

- Os filtros de Sobel são mais comuns que os de Prewitt.
  - Mostramos os horizontais, existem correspondentes verticais.
  - Pode ser interessante dividir as saídas por 4, 58 ou 287, para manter tudo no intervalo [-1,1].

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

3x3

-1	-2	0	2	1
-4	-8	0	8	4
-6	-12	0	12	6
-4	-8	0	8	4
-1	-2	0	2	1

5x5

-1	-3	-3	0	3	3	1
-4	-11	-13	0	13	11	4
-9	-26	-30	0	30	26	9
-13	-34	-40	0	40	34	13
-9	-26	-30	0	30	26	9
-4	-11	-13	0	13	11	4
-1	-3	-3	0	3	3	1

7x7

Filtros de Sobel

- Os filtros de Sobel são mais comuns que os de Prewitt.
  - Mostramos os horizontais, existem correspondentes verticais.
  - Pode ser interessante dividir as saídas por 4, 58 ou 287, para manter tudo no intervalo

Filtro separável, equivalente a aplicar em sequência:

-1	0	1

1
2
1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

3x3

-6	-12	0	12	6
-4	-8	0	8	4
-1	-2	0	2	1

5x5

-13	-34	-40	0	40	34	13
-9	-26	-30	0	30	26	9
-4	-11	-13	0	13	11	4
-1	-3	-3	0	3	3	1

7x7

1x3

Sobel X 3x3

Sobel X 5x5

Sobel X 7x7

3x1

Sobel Y 3x3

Sobel Y 5x5

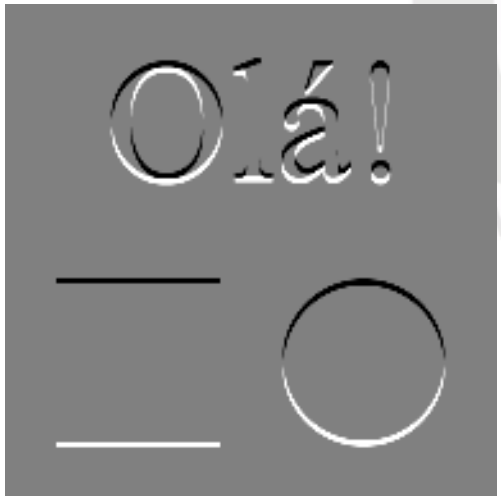
Sobel Y 7x7

1x3

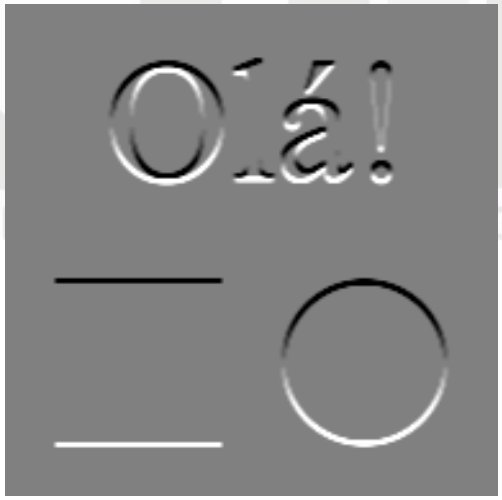
Sobel X 3x3

Sobel X 5x5

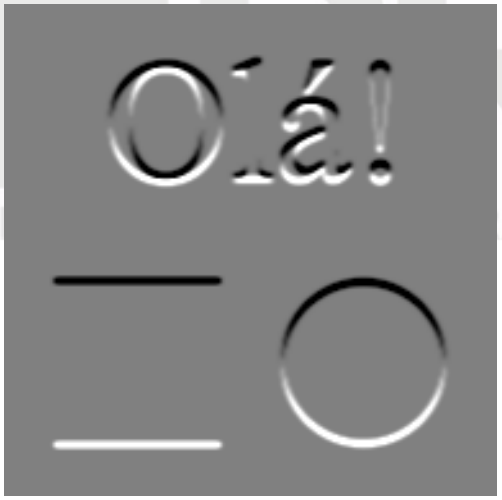
Sobel X 7x7



3x1



Sobel Y 3x3

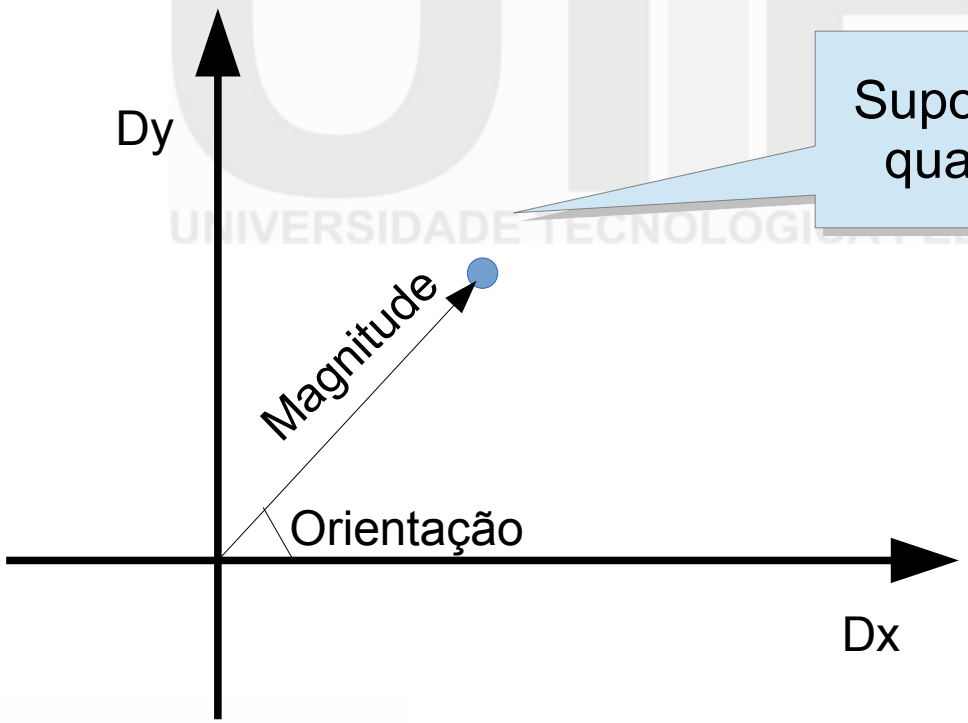


Sobel Y 5x5

Sobel Y 7x7

Magnitude e orientação

- Os gradientes podem ser vistos como vetores.
- Podemos representá-los com valores de *magnitude* e *orientação*.
  - Magnitude: $\sqrt{D_x^2 + D_y^2}$
  - Magnitude simplificada: $|D_x| + |D_y|$
  - Orientação: arctan (*Dy*/*Dx*)



Supondo Dx e Dy no intervalo [-1,1], qual a maior magnitude possível?

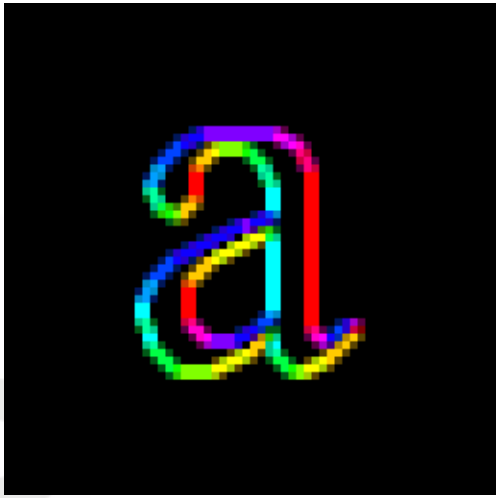
UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo

Dx

Dy

Magnitude



Orientação

Para mostrar a orientação, criamos uma imagem no espaço HSL, com:
H = orientação
S = 1
L = 0.5 x magnitude.

Exemplo

Dx

Dy

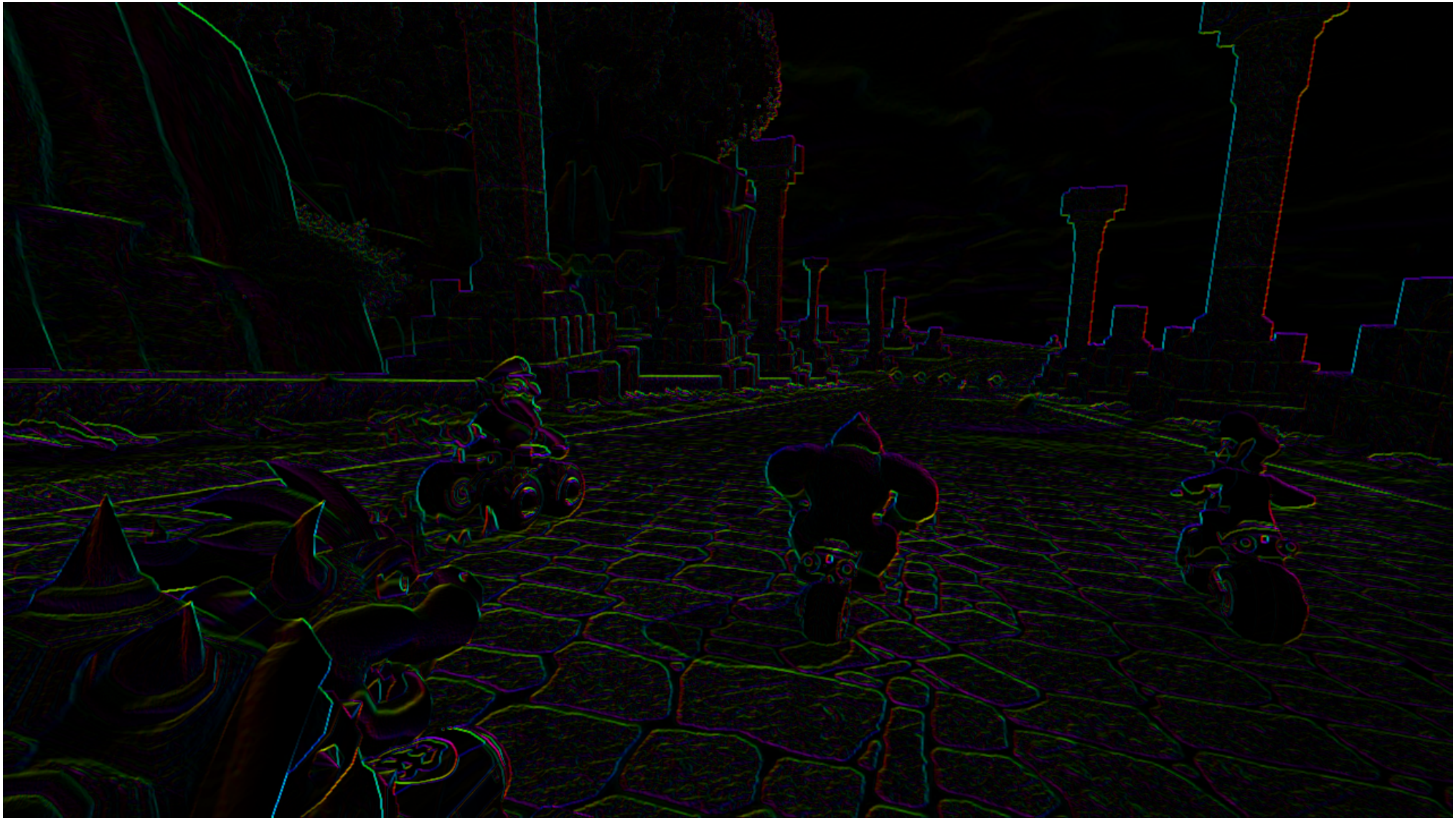
Magnitude

Orientação

Os gradientes são perpendiculares às descontinuidades detectadas!

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Magnitude



Orientação

Gradientes de imagens coloridas

- Como podemos obter os gradientes para imagens coloridas?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Gradientes de imagens coloridas

- Como podemos obter os gradientes para imagens coloridas?
  - R: este é um problema mal colocado, porque não existe uma definição clara de derivada para cores.
- Existem trabalhos que tratam da extração de gradientes em cores, mas não existe uma definição única e rigorosa!
- Algumas alternativas simples:
  - Tomar os maiores valores encontrados em cada canal.
  - Se a orientação não é importante, calcular Dx e Dy como a distância euclidiana entre as cores no espaço RGB.
    - Ou a distância no espaço La*b*, que é perceptualmente uniforme.

Gradientes: notas finais

- Gradientes são **muito** utilizados em diversas aplicações.
  - Os descritores de regiões mais poderosos são baseados em gradientes.
  - Veremos diversos outros usos para gradientes nas próximas aulas.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Voltando

- Voltando ao problema do anti-aliasing!
- Como podemos usar os gradientes?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Voltando

- Voltando ao problema do anti-aliasing!
- Como podemos usar os gradientes?
  - Tentativa: aplicar um filtro Gaussiano 3x3 apenas em pixels cujos gradientes têm magnitude acima de um dado limiar.
    - Testamos com o valor 0.25.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Imagem original

Nosso AA

Borrada com filtro Gaussiano 3x3

Pixels selecionados

Comparando...

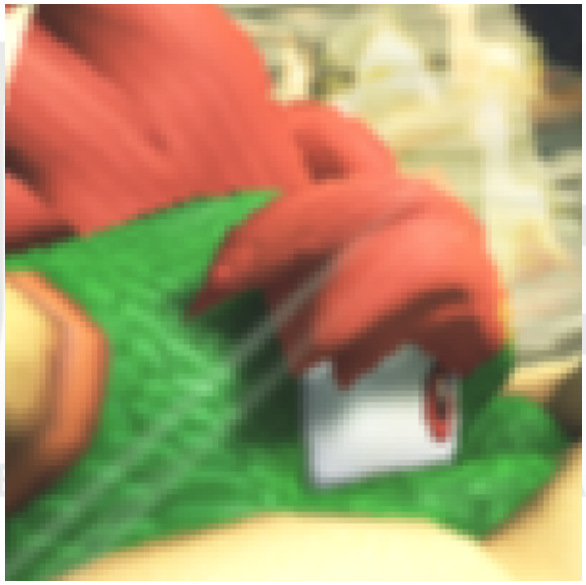
Original

Filtro Gaussiano 3x3

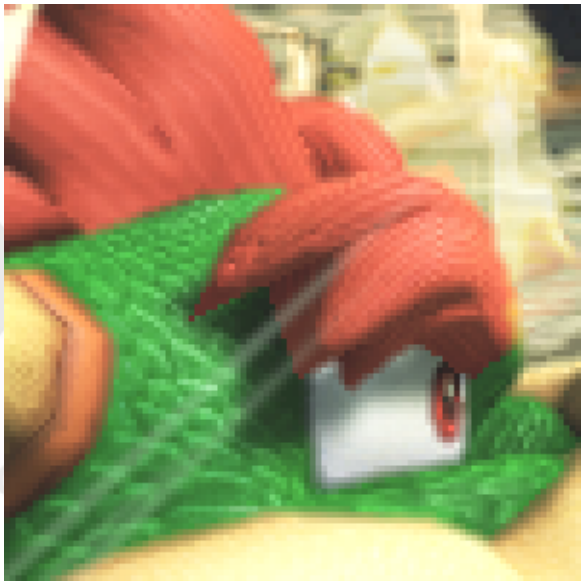
Nosso algoritmo

Comparando...

Original



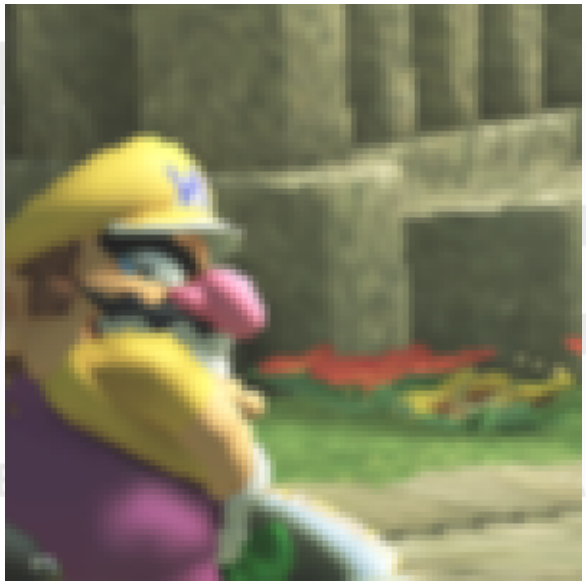
Filtro Gaussiano 3x3



Nosso algoritmo

Comparando...

Original



Filtro Gaussiano 3x3

Nosso algoritmo

Notas finais

- (Vejamos mais alguns exemplos).
- A detecção de gradientes fortes é o primeiro passo de algoritmos como MLAA e FXAA.
  - Este passo é seguido de uma análise das propriedades das bordas.