

# Lista de Exercícios 01

***Exercício 01: Explique os processos de amostragem e quantização para obtenção de imagens digitais. Explique também de que forma esses processos afetam a qualidade de uma imagem digital.***

O que é uma imagem digital?

Uma imagem digital é uma representação de uma imagem visual (como uma fotografia ou vídeo) armazenada em um formato que pode ser processado por um computador. Ao contrário de uma imagem analógica, uma imagem digital é composta de unidades discretas chamadas pixels.

Amostragem

O processo de amostragem é o primeiro passo na conversão de uma imagem do mundo real para uma forma digital. Isso envolve a divisão da imagem contínua em pequenos segmentos ou amostras, que geralmente correspondem aos pixels em uma imagem digital. Cada pixel representa uma parte da imagem original.

Como funciona a amostragem?

- Imagine que você está olhando para uma cena através de uma grade fina. Cada quadrado da grade captura uma pequena parte da cena. Essa "captura" de informações em cada quadrado é essencialmente o que acontece durante a amostragem.
- Na prática, uma câmera digital usa um sensor de imagem (como CCD ou CMOS) que tem uma grade de células sensíveis à luz. Cada célula capta a luz de uma pequena parte da cena, que corresponde a um pixel na imagem digital resultante.

Quantização

Após a amostragem, o processo de quantização é aplicado. Quantização é o processo de mapeamento dos valores de intensidade da luz capturados (que são contínuos por natureza) em valores discretos. Isso é necessário porque um computador não pode armazenar valores infinitamente precisos; em vez disso, ele armazena dados como números inteiros ou valores binários.

Como funciona a quantização?

- Cada pixel tem um certo nível de intensidade de luz que é convertido em um valor numérico. Por exemplo, em uma imagem em preto e branco, mais claro pode ser representado por valores mais altos e mais escuro por valores mais baixos.
- O número de possíveis valores que um pixel pode assumir é determinado pela profundidade de bits da imagem. Por exemplo, uma profundidade de bits de 8 permite 256 ( $2^8$ ) diferentes níveis de intensidade por pixel.

### Impacto na Qualidade da Imagem

- **Amostragem e Resolução:** A resolução de uma imagem, que é frequentemente expressa em termos de número de pixels (por exemplo, 1920x1080), é diretamente afetada pelo processo de amostragem. Quanto maior o número de pixels (ou seja, amostras), maior é a resolução da imagem e melhor é a aproximação da imagem digital à cena original. Uma amostragem insuficiente pode levar ao efeito conhecido como "aliasing", onde padrões irregulares e distorcidos aparecem na imagem.
- **Quantização e Profundidade de Cor:** A profundidade de bits afeta diretamente a quantidade de detalhes de cor que a imagem pode exibir. Com mais bits por pixel, mais nuances nas intensidades e cores podem ser representadas, permitindo uma imagem mais rica e detalhada. Uma quantização com pouca profundidade de bits pode resultar em "posterização", onde as transições de cor se tornam visivelmente abruptas e artificiais.

Em resumo, a amostragem e a quantização são essenciais para transformar uma visão contínua do mundo real em uma representação digital discreta que possamos armazenar, processar e visualizar em dispositivos eletrônicos. A qualidade de uma imagem digital é fortemente influenciada por como esses processos são implementados, especificamente em termos de resolução e profundidade de cor.

***Exercício 02: Operações aritméticas e lógicas também podem ser aplicadas em imagens digitais. Quando estamos querendo detectar problemas em uma linha de produção de placas de circuito em uma indústria, que tipo de operação pode ser usada? Considere que você possui uma imagem da placa de circuito perfeita (sem defeitos). Explique em detalhes o uso dessa operação nesse contexto.***

Para detectar problemas ou defeitos em placas de circuito durante uma linha de produção, uma abordagem eficaz é a utilização da operação de subtração de imagens, uma das operações aritméticas aplicáveis em imagens digitais. Essa técnica é particularmente útil quando se tem uma imagem de referência de uma placa de circuito em estado perfeito, sem defeitos, conhecida também como a imagem "padrão" ou "modelo".

Como Funciona a Operação de Subtração de Imagens:

A operação de subtração envolve a comparação direta de dois pixels correspondentes em duas imagens distintas - neste caso, a imagem da placa de circuito sob inspeção e a imagem modelo da placa perfeita. O processo é realizado pixel a pixel, subtraindo o valor de intensidade (ou cor, no caso de imagens RGB) de cada pixel na imagem modelo do valor correspondente na imagem sob análise. O resultado dessa subtração é uma nova imagem, que destacará as diferenças entre as duas.

Aplicação na Detecção de Defeitos em Placas de Circuito:

1. **Preparação das Imagens:** Primeiramente, é crucial que a imagem da placa de circuito em inspeção esteja alinhada corretamente com a imagem modelo. Isso significa que ambas devem ter a mesma escala, orientação e perspectiva. A precisão nesse alinhamento é fundamental para garantir que a operação de

subtração seja efetiva, pois desalinhamentos podem levar à detecção de "falsos positivos", ou seja, diferenças que são interpretadas como defeitos, mas que na realidade são apenas resultados de uma má correspondência entre as imagens.

2. Execução da Subtração: Ao realizar a subtração, as áreas onde não há diferença significativa entre a placa em inspeção e a imagem modelo tendem a resultar em valores próximos a zero (ou exatamente zero, em uma escala de cinza, onde o preto representa 0). Isto é, estas áreas aparecerão escuras na imagem resultante. Por outro lado, quaisquer defeitos, como componentes faltantes, danificados ou mal posicionados, resultarão em valores de intensidade mais elevados na imagem resultante, destacando-se como áreas mais claras.
3. Análise e Detecção de Defeitos: A imagem resultante da subtração facilita a detecção visual ou automática de defeitos. Áreas mais claras indicam possíveis defeitos ou discrepâncias que devem ser inspecionadas mais detalhadamente. Este método permite uma rápida identificação de problemas, economizando tempo e recursos ao automatizar a parte inicial do controle de qualidade.

#### Vantagens e Considerações:

A operação de subtração de imagens para detecção de defeitos em placas de circuito oferece uma maneira eficiente de automatizar o controle de qualidade em linhas de produção. Contudo, é importante lembrar que a eficácia dessa técnica depende da qualidade das imagens de entrada e do preciso alinhamento entre a imagem modelo e a imagem sob inspeção. A técnica também pode precisar ser ajustada ou combinada com outros métodos de processamento de imagem, dependendo da complexidade dos defeitos que se deseja detectar e das características específicas da linha de produção.

***Exercício 03: Dê a equação geral da transformação de potência, e explique como seus parâmetros afetam a transformação de intensidade definida por essa equação. Cite e explique em detalhes uma aplicação na qual a transformação de potência pode ser útil.***

A equação geral da transformação de potência, também conhecida como correção gama, é uma ferramenta importante no processamento de imagens e gráficos por computador para ajustar a luminosidade das imagens. A equação é dada por:

$$S = c \times r^\lambda$$

Onde:

- $S$ : é o valor de intensidade de saída (após a transformação),
- $r$ : é o valor de intensidade de entrada (antes da transformação),
- $c$ : é uma constante,
- $\lambda$ : é o parâmetro de correção gama.

Os parâmetros  $c$  e  $\lambda$  afetam a transformação de intensidade da seguinte maneira:

Constante  $c$ : Atua como um fator de escala. Ajustando o valor de  $c$ , é possível controlar a amplitude geral da faixa de intensidades de saída. Um valor maior de  $c$  resulta em uma

imagem globalmente mais clara, enquanto um valor menor pode tornar a imagem mais escura.

Parâmetro  $\lambda$ : Controla a forma da curva de mapeamento entre as intensidades de entrada e saída, afetando assim o contraste da imagem.

Quando  $\lambda < 1$ , a curva de transformação é convexa, o que aumenta o contraste das regiões mais escuras enquanto comprime as intensidades mais claras. Isso é útil para iluminar imagens escuras sem perder muitos detalhes nas áreas claras.

Quando  $\lambda > 1$ , a curva de transformação é côncava, o que diminui o contraste nas regiões escuras e aumenta o contraste nas regiões claras. Essa configuração é útil para escurecer imagens excessivamente brilhantes, aumentando os detalhes nas áreas mais claras sem perder detalhes nas sombras.

Aplicação na Correção de Cor em Monitores e TVs:

Uma aplicação crucial da transformação de potência é na correção de cor e brilho em monitores e televisores. Dispositivos de exibição muitas vezes têm uma resposta não linear às intensidades de sinal elétrico que recebem. Por exemplo, um aumento linear na voltagem aplicada a um monitor pode não resultar em um aumento linear percebido no brilho. Para corrigir isso, a correção gama é usada.

Monitores e TVs geralmente são projetados para compensar essa não linearidade ajustando o sinal de vídeo com uma pré-correção gama antes de ele ser enviado ao dispositivo. Isso significa que a imagem que você vê é o resultado de uma aplicação inversa da curva gama, fazendo com que a saída visual pareça correta aos olhos humanos, que também têm uma resposta não linear à luminosidade.

Na prática, isso significa que as imagens e vídeos são frequentemente codificados com um valor de  $\lambda$  específico (por exemplo,  $\lambda = 2.2$  é um valor comum para muitos sistemas de computador e dispositivos de exibição). Ao exibir a imagem, o dispositivo aplica uma correção gama inversa (por exemplo,  $\lambda = \frac{1}{2.2}$ ) para garantir que a intensidade percebida seja proporcional à intenção original da imagem. Esse processo ajuda a garantir que independentemente do dispositivo, as cores e luminosidades das imagens sejam apresentadas de maneira consistente e realista.

**Exercício 04: Dada uma imagem hipotética A de 3-bits ( $L = 8$ ) com tamanho de  $10 \times 10$  pixels que tem a seguinte distribuição de intensidades:**

$r_k$	$n_k$
$r_0 = 0$	18
$r_1 = 1$	16
$r_2 = 2$	25
$r_3 = 3$	26
$r_4 = 4$	8
$r_5 = 5$	4
$r_6 = 6$	1
$r_7 = 7$	2

**Ache a função de transformação de intensidade,  $s = T(r)$ , que promove a equalização de histogramas dessa imagem. Você deve informar qual o valor de  $s$  pra cada um dos oito valores de intensidade.**

$r_k$	$n_k$	$\frac{n_k}{MN}$	$S_k$
0	18	0.18	1.26 ~ 1
1	16	0.16	2.38 ~ 2
2	25	0.25	4.13 ~ 4
3	26	0.26	5.95 ~ 6
4	8	0.08	6.51 ~ 7
5	4	0.04	6.79 ~ 7
6	1	0.01	6.86 ~ 7
7	2	0.02	7 ~ 7

$$s_0 = 7 \times (0.18) = 1.26$$

$$s_0 = 7 \times (0.18 + 0.16) = 2.38$$

$$s_0 = 7 \times (0.18 + 0.16 + 0.25) = 4.13$$

$$s_0 = 7 \times (0.18 + 0.16 + 0.25 + 0.26) = 5.95$$

$$s_0 = 7 \times (0.18 + 0.16 + 0.25 + 0.26 + 0.08) = 6.51$$

$$s_0 = 7 \times (0.18 + 0.16 + 0.25 + 0.26 + 0.08 + 0.04) = 6.79$$

$$s_0 = 7 \times (0.18 + 0.16 + 0.25 + 0.26 + 0.08 + 0.04 + 0.01) = 6.86$$

$$s_0 = 7 \times (0.18 + 0.16 + 0.25 + 0.26 + 0.08 + 0.04 + 0.01 + 0.02) = 7$$

**Exercício 05: Qual a diferença entre a equalização de histogramas e a especificação de histogramas?**

Equalização de histogramas e especificação de histogramas são duas técnicas de processamento de imagens usadas para ajustar o contraste de uma imagem. Embora ambas busquem melhorar a visualização de uma imagem, elas o fazem de maneiras distintas.

#### Equalização de Histogramas

A equalização de histogramas é uma técnica que visa redistribuir o contraste da imagem de forma uniforme. O objetivo é que, após a aplicação dessa técnica, o histograma da imagem seja o mais plano possível, indicando uma distribuição uniforme de intensidades. Isso é útil em imagens com contraste pobre, pois a equalização pode ajudar a realçar detalhes que antes não eram visíveis. A equalização é feita automaticamente, sem necessidade de especificar um histograma desejado; o processo procura maximizar o contraste da imagem sem se basear em um histograma de referência.

#### Especificação de Histogramas (ou Correspondência de Histogramas)

A especificação de histogramas, por outro lado, é um processo que visa modificar o histograma de uma imagem para que ele corresponda ao histograma de outra imagem especificada, chamada de imagem de referência. Isso é útil quando se deseja que uma imagem tenha o estilo ou a aparência de outra, em termos de distribuição de intensidade. Ao contrário da equalização, que é um processo mais genérico e automático de ajuste de contraste, a especificação requer uma imagem de referência com o histograma desejado. O processo ajusta as intensidades da imagem original de forma que seu histograma se alinhe com o da imagem de referência, alcançando assim um efeito específico ou desejado.

#### Principais Diferenças

**Objetivo:** A equalização de histogramas busca distribuir uniformemente as intensidades de pixel ao longo do histograma, maximizando o contraste da imagem de forma geral. A especificação de histogramas visa modificar o histograma de uma imagem para que ele corresponda ao de uma imagem de referência, alterando assim a aparência da imagem original para se assemelhar à da referência em termos de contraste e distribuição de intensidades.

**Processo:** A equalização é um processo automático que não requer uma imagem de referência, enquanto a especificação precisa de um histograma de referência específico para guiar a redistribuição das intensidades.

**Uso:** Equalização é mais usada para melhorar imagens com contraste pobre de maneira rápida e simples, enquanto a especificação é usada quando um certo estilo ou aparência específica é desejado, sendo necessário um controle mais fino sobre o resultado final.

Cada técnica tem seus usos e benefícios específicos, dependendo do objetivo desejado na manipulação da imagem.

***Exercício 06: Ainda considerando a imagem hipotética A do exercício 4, aplique o processo de especificação de histograma de forma que essa imagem possua ao final do processo uma função de densidade de probabilidade similar a dada abaixo:***

$z_q$	$p_z(z_q)$ (especificado)
$z_0 = 0$	0,00
$z_1 = 1$	0,00
$z_2 = 2$	0,00
$z_3 = 3$	0,19
$z_4 = 4$	0,25
$z_5 = 5$	0,21
$z_6 = 6$	0,24
$z_7 = 7$	0,11

Passo 01:

$r_k$	$\frac{n_k}{MN}$	$s_k$
0	0.18	1
1	0.16	2
2	0.25	4
3	0.26	6
4	0.08	7
5	0.04	7
6	0.01	7
7	0.02	7

Passo 02:

$z_k$	$\frac{z_k}{MN}$	$g_k$
0	0.00	0
1	0.00	0
2	0.00	0
3	0.19	1
4	0.25	3
5	0.21	5
6	0.24	6
7	0.11	7

Passo 03:

$s_k$	$z_q$
1	3
2	3
4	4
6	6
7	7

Passo 04:

$s_k$	$z_q$
1	3
2	3
4	4
6	6
7	7

**Exercício 07: Tratando-se de filtragem espacial, um problema ocorre quando o centro da máscara se aproxima dos limites da imagem. Por que isso acontece? Cite duas opções possíveis para tratar esse problema.**

O problema de filtragem espacial mencionado ocorre porque, ao aplicar uma máscara (ou kernel) sobre uma imagem para realizar operações como suavização, afiação, ou detecção de bordas, o centro da máscara precisa estar posicionado sobre um pixel da imagem. À medida que o centro da máscara se aproxima dos limites da imagem, partes da máscara podem estender-se além dos limites da imagem, fazendo com que não haja pixels correspondentes para essas áreas da máscara. Isso gera um desafio sobre como tratar essas regiões, já que a operação de filtragem requer um mapeamento um-para-um entre os pixels da máscara e os pixels da imagem.

Para tratar esse problema, existem várias abordagens:

Ignorar os pixels para os casos em que a operação não possa ser realizada (borda não processada): Esta é a abordagem mais simples, onde simplesmente não se realiza a operação de filtragem nas bordas da imagem, resultando em bordas que não são processadas e permanecem inalteradas em relação à imagem original. Isso pode resultar em uma faixa estreita ao redor da imagem que não é afetada pela filtragem.



Filtrar os pixels somente com as seções da máscara que estão contidas na imagem (aumenta complexidade da operação): Nesta abordagem, ajusta-se a operação de filtragem nas bordas para usar apenas a parte da máscara que se sobrepõe à imagem. Isso significa calcular a operação de filtragem com uma máscara "cortada" ou ajustada, o que aumenta a complexidade da operação, pois a máscara precisa ser adaptada para cada posição próxima às bordas.

Expandir a imagem criando  $a = (m - 1)/2$  linhas e  $b = (n - 1)/2$  colunas, preenchendo-as com:

- Valor fixo (podendo ser 0): Uma maneira de lidar com o problema é expandir a imagem artificialmente adicionando linhas e colunas ao redor da imagem original. Essas novas linhas e colunas podem ser preenchidas com um valor fixo, como 0 (preto) ou qualquer outro valor escolhido, criando uma borda artificial ao redor da imagem que permite a aplicação da máscara nas bordas sem faltar pixels da imagem original.
- Por replicação: copiar os pixels da borda: Outra abordagem de expansão da imagem envolve replicar os pixels da borda da imagem original para criar as novas linhas e colunas. Isso ajuda a manter a continuidade visual da imagem nas bordas, permitindo a aplicação da máscara de filtragem de maneira mais natural e menos intrusiva em relação à estética da imagem.

Cada uma dessas opções tem suas vantagens e desvantagens, dependendo do contexto específico de uso e dos requisitos de qualidade e processamento da imagem.

**Exercício 08: Dado o contexto de filtragem espacial linear, aplique um filtro da média não-ponderado de tamanho  $3 \times 3$  sobre a seguinte imagem de 3-bits ( $L = 8$ ) com as seguintes intensidades:**

7	3	3	5	7
4	5	7	2	7
3	5	5	1	4
5	0	1	2	4
7	7	2	6	1

**Lembre-se de tratar o problema dos limites da imagem de alguma forma escolhida por você.**

Utilizando o tratamento de borda por replicação...

5	5	4	5	9
6	4	4	5	4
4	4	3	4	4

5	5	3	3	3
6	4	4	3	3

**Exercício 09: Que tipo de filtro é melhor para tratar ruídos do tipo 'sal-e-pimenta'? O filtro da média ou da mediana? Explique sua escolha.**

Para tratar ruídos do tipo "sal-e-pimenta", o filtro da mediana é geralmente considerado melhor do que o filtro da média. Vamos entender o porquê.

O ruído "sal-e-pimenta" é caracterizado por pixels pretos e brancos aleatórios distribuídos pela imagem, simulando a aparência de grãos de sal e pimenta espalhados sobre a superfície. Esse tipo de ruído pode ser causado por erros na transmissão de dados, falhas no sensor da câmera, entre outros.

#### Filtro da Média

O filtro da média calcula o valor de cada pixel da imagem como sendo a média dos valores de intensidade dos pixels em sua vizinhança. Esse processo tende a suavizar a imagem, reduzindo a variação entre os pixels adjacentes. No entanto, ao lidar com o ruído "sal-e-pimenta", o filtro da média não é muito eficaz porque os valores extremamente altos ou baixos (preto ou branco no caso do ruído "sal-e-pimenta") afetam significativamente a média, podendo resultar em uma imagem com áreas borradas ou com a preservação do ruído.

#### Filtro da Mediana

O filtro da mediana, por outro lado, substitui o valor de cada pixel pela mediana dos valores dos pixels em sua vizinhança. Diferentemente da média, a mediana é menos sensível a valores extremos porque ela ordena os valores na vizinhança e seleciona o valor do meio. Isso significa que, no caso de ruído "sal-e-pimenta", os valores extremamente altos ou baixos não influenciam diretamente o valor final do pixel processado. O filtro da mediana pode efetivamente remover esses pontos extremos sem afetar significativamente a nitidez da imagem.

#### Conclusão

Por essas razões, o filtro da mediana é geralmente a escolha preferida para tratar imagens com ruído "sal-e-pimenta", pois ele é capaz de remover os ruídos mantendo as bordas e detalhes da imagem mais intactos do que o filtro da média.

**Exercício 10: Explique em detalhes o funcionamento do filtro Laplaciano.**

O filtro Laplaciano é uma técnica de processamento de imagens usada principalmente para realçar bordas. Este filtro é baseado no operador laplaciano, que é uma medida da segunda derivada de uma função, aplicada neste caso à intensidade dos pixels de uma imagem. O objetivo do filtro é destacar regiões de mudança rápida de intensidade, que correspondem às bordas dos objetos na imagem.

Quando aplicamos o Laplaciano a uma imagem, estamos basicamente medindo a curvatura da função de intensidade de luz em cada ponto da imagem. Em termos práticos, isto significa que:

- ser zero em áreas de intensidade constante;
- ser diferente de zero no início e fim de um degrau ou rampa de intensidade;
- ser zero em uma rampa com inclinação constante.

Para calcular o Laplaciano de uma imagem digital, usamos uma máscara (ou kernel), que é uma pequena matriz que aplicamos a cada pixel da imagem. Existem várias máscaras que podem representar o operador Laplaciano, mas uma das mais comuns é a seguinte:

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Esta máscara calcula uma aproximação do Laplaciano usando diferenças finitas, assumindo uma vizinhança de 4 conectividades. Uma variação que considera uma vizinhança de 8 conectividades usa a seguinte máscara:

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

**Aplicação da Máscara:** A máscara laplaciana é aplicada a cada pixel da imagem. Isso é feito por uma operação chamada convolução, onde a máscara é "deslizada" sobre a imagem, e para cada posição, o valor do novo pixel é calculado como a soma dos produtos dos valores da máscara pelos pixels correspondentes sob ela.

**Destaque de Bordas:** Como resultado da convolução, áreas com altas taxas de mudança na intensidade (bordas) serão destacadas, enquanto áreas de intensidade constante terão valores próximos a zero.

**Resultados:** O resultado é uma imagem que realça as bordas e pode parecer predominantemente escura com linhas claras onde as bordas são detectadas.

**Exercício 11: Explique em detalhes o funcionamento do filtro Gradiente. Informe também as máscaras que fornecem os operadores de Sobel.**

O filtro Gradiente é uma técnica fundamental no processamento de imagens, utilizada principalmente para detectar bordas em uma imagem. Este filtro funciona calculando o gradiente da intensidade de uma imagem em cada pixel, fornecendo assim a direção da maior variação de intensidade e sua magnitude. Isso é útil para identificar as transições de

claro para escuro (ou vice-versa), que indicam onde as bordas dos objetos estão localizadas na imagem.

O gradiente de uma função de duas variáveis  $f(x,y)$  (neste caso, a intensidade da imagem) é um vetor bidimensional que aponta na direção da maior taxa de aumento da função e cuja magnitude é o valor dessa taxa. O gradiente é dado por:

$$\Delta f = \text{grad}(F) = \left( \frac{\alpha f}{\alpha x}, \frac{\alpha f}{\alpha y} \right)$$

No contexto de processamento de imagens, as derivadas parciais  $\frac{\alpha f}{\alpha x}$  e  $\frac{\alpha f}{\alpha y}$  são tipicamente calculadas usando operadores de diferenciação discretos, como o operador de Sobel, que é um dos métodos mais populares devido ao seu bom equilíbrio entre sensibilidade à borda e robustez ao ruído.

Os operadores de Sobel usam duas máscaras (ou kernels) separadas para calcular aproximações das derivadas horizontal e vertical da imagem. Estes são:

- Sobel Horizontal (detecta bordas verticais):

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Sobel Vertical (detecta bordas horizontais):

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Para aplicar o filtro gradiente com os operadores de Sobel:

Convolve a Imagem com Ambas as Máscaras: Aplica-se separadamente as máscaras  $G(x)$  e  $G(y)$  à imagem. Isto é feito deslizando cada máscara sobre a imagem e calculando a soma ponderada dos pixels que caem sob cada elemento da máscara.

Cálculo do Gradiente em Cada Pixel: Para cada pixel, o gradiente é calculado usando as duas imagens resultantes da convolução,  $I(x)$  e  $I(y)$ , que representam as derivadas horizontal e vertical, respectivamente. A magnitude do gradiente pode ser calculada como:

$$|G| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

Resultados: O resultado é uma imagem onde as bordas têm alta magnitude de gradientes, destacando-se do fundo. A direção do gradiente também pode ser usada para análises adicionais, como a orientação de bordas.