ALGORITMOS PARA A DISCRIMINAÇÃO
DE PADRÕES EM IMAGENS

Alexandre Pimentel Mendonça

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Aprovada por:

_____
Prof. Eduardo Antônio Barros da Silva - Ph.D.

_____
Prof. Sérgio Lima Netto - Ph.D.

_____
Prof. Abraham Alcaim - Ph.D.

_____
Prof. Luciano da Fontoura Costa - Ph.D.

_____
Prof. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia - Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
JULHO DE 2003

MENDONÇA, ALEXANDRE PIMENTEL

Algoritmos para a Discriminação de Padrões em Imagens [Rio de Janeiro] 2003

VIII, 159 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Elétrica, 2003)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Filtragem Discriminativa

2. Reconhecimento de Padrões

3. Segmentação de Imagens

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

À minha esposa, à minha filha, aos meus pais e aos demais familiares, pelo ambiente carinhoso que me proporcionam no dia a dia.

Ao Instituto Militar de Engenharia, que me recebeu de braços abertos e que me acolhe há mais de 8 anos.

Agradecimentos

Ao Prof. Eduardo Antônio Barros da Silva, meu orientador, por ser preciso e competente em todas as suas sugestões e por estar sempre disponível para apoiar-me durante o desenvolvimento desta tese.

Aos meus chefes do Departamento de Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, que me incentivaram a realizar o curso de doutorado durante estes mais de cinco anos. Em especial, cito o Prof. Geraldo Magela Pinheiro Gomes, o Cel. Sidney Cerqueira Bispo dos Santos, o Maj. Ivan dos Santos Ferreira Mendes e o Ten.Cel. José Antônio Apolinário Júnior.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

ALGORITMOS PARA A DISCRIMINAÇÃO DE PADRÕES EM IMAGENS

Alexandre Pimentel Mendonça

Junho/2003

Orientador: Eduardo Antônio Barros da Silva

Programa: Engenharia Elétrica

Este trabalho aborda algoritmos enfocados em aplicações de visão computacional. Numa primeira etapa, apresenta-se um método de segmentação, responsável por dividir uma imagem em poucas e bem definidas regiões. No restante da tese, são desenvolvidos diversos algoritmos de filtragem discriminativa, oferecendo soluções para a detecção de padrões em uma imagem.

A filtragem discriminativa é uma ferramenta relativamente nova em detecção/reconhecimento de padrões e sua idéia central é obter um operador que, quando convoluído com o padrão de interesse, gere na saída um sinal com a energia concentrada numa de suas amostras.

As aplicações da filtragem discriminativa são estendidas para o caso multi-padrão, através dos dois novos tipos propostos de filtro: o filtro OU, que responde a qualquer imagem pertencente a um conjunto escolhido, e o filtro QUAL, que, além de responder a qualquer das imagens, pode decidir por qual das imagens do conjunto. De forma a melhorar a eficiência do filtro QUAL num sistema de reconhecimento, é proposto também um método que reduz a influência de um padrão no outro, influência esta chamada de discriminação cruzada.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillmente of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ALGORITHMS FOR IMAGE TEMPLATE DISCRIMINATION

Alexandre Pimentel Mendonça

June/2003

Advisor: Eduardo Antônio Barros da Silva

Department: Eletrical Engeneering

This work investigates algorithms to be used on computer vision applications. At a first stage, a segmentation method is presented. It is responsible for spliting an image on a small number of regions. In the remaining of the thesis, several algoritmhs for discriminative filtering are developed, offering solutions for template detection.

Discriminative filtering is a novel tool for pattern detection and recongnition. Its central idea is to obtain an operator that, when colvolved with a specific template, genarates as output a signal with the energy concentrated in only one of its samples.

Discriminative filtering applications are extended for the multi-template case through two new proposed types of filters: the discriminative filter of the type OR, that is, the one that responses to any template belonging to a chosen set, and the discriminative filter of the type WHICH, that is, the one that can decide for which of the templates of the set. To improve the efficiency of the WHICH filter at a pattern identification system, it is also proposed a method that reduces the influence of one template on another. We refer to this inluence as cross discrimination.

Índice

1. Introdução **1**

1.1. Aplicações da Discriminação de Padrões 1

1.2. Etapas da Discriminação Desenvolvidas na Tese 2

1.3. Contribuições Científicas da Tese e Publicações Obtidas ao Longo de seu Desenvolvimento 3

2. Método para Segmentação **7**

2.1. Introdução 7

2.2. Escolha das Estatísticas Locais 8

2.3. Varredura da Imagem 10

2.4. Refinamento da Segmentação 14

2.5. Simulações 15

2.6. Conclusões 18

3. Filtros Discriminativos **20**

3.1. Introdução 20

3.2. Formulação em Uma Dimensão 21

3.3. Filtros Discriminativos em Duas Dimensões 26

3.4. Abordagem Tensorial 29

3.5. Abordagem Alternativa 32

3.6. Abordagem Mista 34

3.7. Método Prático para a Detecção de Gabaritos 36

3.8. Escolha do Limiar 38

3.9. Resultados Parciais das Simulações 40

3.10. Detecção após Segmentação 44

3.11. Uso de Máscaras Especiais 45

3.12. Conclusões 53

4. Discriminação Via Restauração do Impulso **54**

4.1. O Problema Clássico de Restauração do Impulso 54

4.2. A Filtragem Discriminativa como um Problema de Restauração do Impulso 57

4.3. A Abordagem Alternativa como um Problema de Restauração do Impulso 64
4.4. A Abordagem Mista como um Problema de Restauração do Impulso 66
4.5. Simulações 67
4.6. Simulações com uma Quina Genérica 72
4.7. Conclusões 75

5. Discriminação de Múltiplos Padrões 76
5.1. Filtro Discriminativo do Tipo "OU" 76
5.2. Exemplo 77
5.3. Filtro Discriminativo do Tipo "QUAL" 82
5.4. Simulações 87
5.5. Conjugação dos Filtros "OU" e "QUAL" 89
5.6. Conclusões 103

6. Discriminação Cruzada 104
6.1. Uma Aplicação no Reconhecimento dos Dígitos Numéricos 104
6.2. Método para Redução da $DSNR_2$ Cruzada 109
6.3. Critérios para Teste da Eficiência na Redução da $DSNR_2$ Cruzada 113
6.4. Simulações 133
6.5. Conclusões 161

7. Conclusões 162
7.1. Resultados Relevantes da Tese 162
7.2. Propostas para Futuros Trabalhos 163

Referências 164

1. Introdução

1.1. Aplicações da Discriminação de Padrões

Sem dúvida, o título *"Algoritmos para a Discriminação de Padrões em Imagens"* é bastante genérico e abrange muitos campos e aplicações de interesse da ciência onde, entre elas, pode-se citar a codificação de vídeo e a visão computacional.

A discriminação de padrões é um problema potencialmente aplicável na codificação de vídeo. Vislumbra-se a seguinte possibilidade: uma imagem é adquirida e alguns de seus objetos são detectados, separados e codificados num plano alternativo da imagem, como prevê o padrão MPEG-4 [1]. É claro que a separação de objetos é muito interessante e tem o potencial de oferecer uma maior flexibilidade de representação, abrindo novas possibilidades de aplicações. Separar um objeto possibilita também codificar-se parte de uma cena (a que contém o objeto) com uma qualidade melhor, sem que se requeira fidelidade absoluta em outras partes. Isto permitiria um bom ganho de compressão, com aplicações extensíveis à vídeo-conferência e à multimídia.

Discriminar padrões também é um passo indispensável em aplicações de visão computacional, como sistemas de acompanhamento, sistemas de identificação e robótica. Quando se refere ao termo "padrão", não necessariamente se refere ao objeto final que se deseja reconhecer. Às vezes, é necessário modelar o objeto em um conjunto de formas geométricas mais simples, que seriam os padrões a serem primeiramente identificados pelos algoritmos. Identificados os objetos, torna-se facilitada a composição de um sistema de acompanhamento, como, por exemplo, o de guiamento de um míssil em direção a um alvo, ou a de um sistema de identificação, como o de aeronaves amigas ou inimigas, ou mesmo a de um sistema de robótica, como o de uma máquina que identifique objetos e que atue sobre eles, seja na indústria automotiva / eletrônica, seja em situações domésticas, como no auxílio a cegos, etc..

1.2. Etapas da Discriminação Desenvolvidas na Tese

A discriminação de padrões pode envolver muitas etapas de processamento, como a extração de atributos (*features*), a segmentação, a síntese de imagens auxiliares, a construção de um banco de padrões de comparação, os treinamentos intermediários, as filtragens discriminativas, etc..

A segmentação é uma das etapas de processamento de maior relevância no campo científico, que vem motivando vários trabalhos [2-5]. Tem-se notado na literatura uma grande diversidade na forma de se abordar o problema da segmentação. Muitos algoritmos trabalham localmente, baseando-se em blocos. Já o interesse nesta tese está voltado para problemas específicos de visão computacional, recaindo na busca por uma segmentação com poucas e bem definidas regiões, de forma a facilitar a extração de objetos. Um algoritmo com esta característica está apresentado no Capítulo 2. Nele, estão também propostas duas novas estatísticas locais com um bom potencial de discriminação de texturas.

A filtragem discriminativa é um campo de estudos relativamente novo na ciência, que ganhou popularidade com os trabalhos do Professor Ben-Arie e colaboradores [6-8] no meio da década de 90. Estes trabalhos foram desenvolvidos para sinais em uma dimensão. No caso do trabalho [7], foi realizada uma busca de valores principais em padrões de imagem de forma a se adaptar a dimensão (de 2 para 1) do sinal a ser processado. A idéia central deste tipo de filtragem é obter um operador que, quando convoluído com o padrão de interesse, gere um sinal cuja energia fique concentrada numa das amostras do sinal de saída. Já nesta tese, o Capítulo 3 apresenta uma formulação generalizada da filtragem discriminativa para sinais bidimensionais inédita na literatura, além de incluir uma abordagem alternativa de processamento. Esta extensão bidimensional requer soluções obtidas via otimizações numéricas.

Um problema popular [9-10], que muito se parece com a filtragem discriminativa, é o da restauração do impulso. Sua idéia é obter um operador linear para interagir com o sinal de imagem, de forma a gerar-se um impulso na posição onde o padrão estiver presente. O Capítulo 4 faz uma associação matemática do problema da filtragem discriminativa com o problema da restauração do impulso em duas dimensões (que ainda não havia sido formulado na literatura), incluindo a associação da abordagem alternativa citada no parágrafo anterior. Como será visto, a restauração do impulso é

formulada com algumas pequenas restrições, que não são exigidas no problema da filtragem discriminativa. Em compensação, oferece uma solução analítica e que não requer o uso de processos numéricos de otimização.

O Capítulo 5 expande o leque de aplicações da filtragem discriminativa usando restauração do impulso para o caso multi-padrão. São apresentados dois novos tipos de filtro: o filtro OU, que responde a qualquer imagem pertencente a um conjunto escolhido, e o filtro QUAL, que, além de responder a qualquer das imagens, tem a capacidade também de decidir por qual das imagens do conjunto. Uma abordagem mista também é apresentada, ilustrando um caso onde 3 vogais são representadas cada uma delas por duas fontes diferentes (*Arial* e *Times New Roman*). Como resultado do filtro desta última abordagem, o método apenas diz qual é a vogal, sem discriminar qual a fonte usada em sua representação.

Nem sempre um filtro do tipo QUAL é eficiente na discriminação de padrões morfologicamente muito parecidos, como os dígitos "3" e "8". Como mostrado no início do Capítulo 6, o filtro QUAL responde com uma energia razoável na saída referente ao padrão "8" mesmo quando a entrada for o padrão "3". Motivado por este fato, é proposto um método que reduz a influência de um padrão no outro, influência esta chamada de discriminação cruzada. As simulações comprovam o quanto este método pode melhorar a eficiência num sistema de reconhecimento.

1.3. Contribuições Científicas da Tese e Publicações Obtidas ao Longo de seu Desenvolvimento

A tabela 1.1 resume as publicações já realizadas decorrentes do desenvolvimento desta tese.

No Capítulo 2, foi desenvolvido um novo algoritmo de segmentação, que inclui o uso de duas novas estatísticas locais (CDM e SDV). Este algoritmo foi usado indiretamente para melhorar o desempenho da discriminação de padrões proposta nos capítulos seguintes. Vale observar que este algoritmo deu origem às publicações #1 e #2.

Após uma introdução descrevendo os principais trabalhos desenvolvidos na literatura sobre o tema filtragem discriminativa em uma dimensão, o Capítulo 3 apresenta uma formulação inédita sobre a filtragem discriminativa em duas dimensões, resultando soluções obtidas através de processos numéricos de otimização (métodos baseados em

gradiente, *simulated annealing,* etc.) e incluindo uma abordagem alternativa ao problema original. Os conceitos abordados neste capítulo geraram as publicações #3 (colocação do problema num enfoque em 2 dimensões e simulações simples), #4 e #5 (inclusão da abordagem alternativa e de um método mais sofisticado para a detecção de padrões).

Em seguida, o problema da filtragem discriminativa e o problema de restauração do impulso, que são parecidos, foram abordados, no Capítulo 4, através de um paralelo matemático, incluindo um devido enquadramento da abordagem alternativa colocada no Capítulo 3. Este trabalho originou as publicações #6 e #7.

No Capítulo 5, o paralelo entre a filtragem discriminativa e a restauração do impulso foi mais explorado, de forma a ampliar as aplicações do problema de detecção de padrões, com o objetivo de possibilitar a construção de filtros que respondessem simultaneamente a mais de um padrão. Para tanto, foram propostos filtros discriminativos do tipo OU (responde a qualquer um dos padrões pertencentes a um conjunto) e do tipo QUAL (idem, porém é capaz de reconhecer qual o padrão do conjunto). Estas contribuições geraram os trabalhos #8, #9 e #10.

O Capítulo 6 apresenta inicialmente um problema de reconhecimento de dígitos numéricos usando a abordagem do Capítulo 5. É mostrado então que dígitos muito parecidos, como o "3" e o "8", podem afetar o desempenho do sistema, já que podem causar a discriminação cruzada, isto é, a possibilidade de uma decisão trocada (por exemplo: o dígito "3" entra no sistema, mas o sistema o reconhece como "8"). Isto motivou o desenvolvimento de uma técnica para a redução da discriminação cruzada. Apesar dos promissores resultados obtidos, ainda não houve tempo útil para a sua publicação em revistas ou anais.

Sem dúvida, as maiores contribuições desta tese estão nos trabalhos dos Capítulos 4, 5 e 6, onde a restauração do impulso foi explorada. Abre-se então uma alternativa viável e de baixo custo computacional para complexos sistemas e classificadores não-lineares, sendo que as possíveis aplicações vislumbradas para os métodos propostos mais que extrapolam as dos exemplos apresentados no presente texto.

Tabela 1.1. Listagem das publicações ao longo do desenvolvimento desta tese (continua...).

Índice	Referência completa	Tipo	Capítulo da tese a que se refere
#1	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Segmentation Approach Using Local Image Statistics", IEE Electronics Letters, Vol. 36, Nº14, pp 1199-1201, Londres, Inglaterra, julho de 2000	Artigo em periódico internacional	2
#2	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Uma Técnica Eficiente para Segmentação Baseada no Algoritmo de Médias-K Localmente Aplicado nas Estatísticas da Imagem", Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, em CD ROM, Gramado-RS, Brasil, setembro de 2000	Artigo em anais de conferência nacional	2
#3	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Analysis and Computation of Optimized Two-Dimensional Linear Filters for Image Template Detection", Proceedings of First IEEE South-American Workshop on Circuits and Systems, em CD ROM, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, novembro de 2000	Artigo em *proceedings* de conferência internacional	3
#4	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Filtros Discriminativos para a Detecção de Gabaritos de Imagens", Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, em CD ROM, Fortaleza-CE, Brasil, setembro de 2001	Artigo em anais de conferência nacional	3
#5	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Two-Dimensional Discriminative Filters for Image Template Detection", Proceedings of International Conference on Image Processing, em CD ROM, Thessaloniki, Grécia, outubro de 2001	Artigo em *proceedings* de conferência internacional	3
#6	Mendonça, A.P. e da Silva, E.A.B. "Discriminative Filtering as an Impulse Restoration Problem", IEEE International Telecommunication Symposium, Natal-RN, Brasil, set. 2002	Artigo em *proceedings* de conferência internacional	4
#7	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Closed-Form Solutions for Discriminative Filtering Using Impulse Restoration Techniques", IEE Electronics Letters, Vol. 38, Nº22, pp 1332-1333, Londres, Inglaterra, outubro de 2002	Artigo em periódico internacional	4

Tabela 1.1. (continuação...) Listagem das publicações ao longo do desenvolvimento desta tese.

#8	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Filtragem Discriminativa para Detecção de Múltiplos Padrões de Imagem", Anais do XX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, em CD ROM, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, outubro de 2003 (submetido e aceito para publicação)	Artigo em anais de conferência nacional	5
#9	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Multiple Template Detection Using Closed-Form Solutions for Two-Dimensional Discriminative Filters", Proceedings of IASTED International Conference on Signal and Image Processing, em CD ROM, Honolulu, Estados Unidos, agosto de 2003 (submetido e aceito para publicação)	Artigo em *proceedings* de conferência internacional	5
#10	Mendonça, A.P. e Da Silva, E. A. B., "Multiple Template Detection Using Impulse Restoration and Discriminaive Filters", IEE Electronics Letters, Londres, Inglaterra (submetido, aguardando resultado)	Artigo em periódico internacional	5

2. Método para Segmentação

Neste capítulo, é descrita uma técnica eficiente de segmentação baseada na aplicação local do algoritmo de Médias-K sobre um espaço de vetores construídos com estatísticas locais da imagem. Tal técnica requer um esforço computacional não elevado e pode ser utilizada para diferentes classes de imagens, oferecendo resultados que permitem a sua utilização como pré-processamento nas aplicações do decorrer da tese.

2.1. Introdução

A importância das técnicas de segmentação não pode ser subenfatizada. Como exemplos de aplicações, citam-se a visão computacional e a compressão de imagens. Também o padrão MPEG-4 [1], que permite a divisão da imagem em planos de objetos, vem incentivando o desenvolvimento de trabalhos associados à segmentação de imagens e vídeo.

Os mais recentes e populares algoritmos abordam de diversas formas o problema da segmentação. Muitos deles se concentram em detetores de bordas, contornos e retas. Ji e Haralick [11] propuseram um eficiente detetor de retas utilizando a transformada de Hough. Chan [12] preocupou-se com a extração de lábios humanos. Lai e Figueiredo [13], Ji e Haralick [14], Abdou e Pratt [15] e Song e Udpa [16] analisaram estatísticas locais para construírem detetores de bordas. Já Arie e Rao [6-7][17-18] criaram detetores a partir da projeção da imagem em um conjunto adequado de funções-bases e proporcionaram grande contribuição na detecção não só de bordas, mas também de junções e degradês (*ramps*). Já Bellon, Direne e Silva [19] optaram primeiramente por segmentar a imagem para posteriormente extrair as bordas. Motivados pelas aplicações em vídeo-conferência e MPEG-4, Li, Hatzinakos e Venetsanopoulos [20], Darrell e Pentland [21] e Black e Jepson [22] desenvolveram algoritmos de segmentação baseados no movimento.

Neste capítulo, aborda-se com ênfase a segmentação de imagens naturais em poucas regiões, independentemente do índice de incidência de bordas ou degradês.

Para ter-se um parâmetro de comparação de técnicas e de resultados, foram tomados os trabalhos de Boukerroui, Basset e Baskurt [3], Lim e Ho [4] e Won [5].

Em [3], os autores conseguiram ótimos resultados ao aplicarem o problema de estimação via máxima probabilidade a posteriori com o objetivo de segmentar imagens com texturas bem caracterizadas, como aquelas geradas por processos gaussianos. Nele, o método foi aplicado com imagens sintetizadas computacionalmente.

Em [4], utilizou-se uma técnica interessante que consiste em transformar a região de uma imagem principal, sobre um fundo secundário, num conjunto formado pela união de figuras geométricas bem conhecidas, como retângulos e elipses, de diferentes tamanhos, de forma a separar a imagem principal. Esta técnica se mostrou ser de custo computacional muito baixo e bastante atraente para aplicações em vídeo-conferência.

Em [5], Won analisou a DCT 2x2 calculada ao longo de uma imagem e aplicou a segmentação baseada no grau de similaridade entre os coeficientes das DCT 2x2 calculadas em janelas 2x2 vizinhas. O grande benefício deste trabalho foi oferecer facilidades para diferenciarem-se regiões com texturas bem caracterizadas.

Neste capítulo, propõe-se um algoritmo que processe uma imagem qualquer e a segmente num conjunto reduzido de regiões, baseado na análise local da média e variância entre pontos vizinhos da imagem. O algoritmo sugerido pode ser aplicado tanto em imagens de tons de cinza ou coloridas. Entre as suas vantagens, pode-se destacar a possibilidade de identificar regiões com grandes áreas.

Para apresentar a técnica proposta, inicialmente são descritas as estatísticas locais utilizadas na aplicação do algoritmo de Médias-K. Em seguida, aborda-se o processo de varredura da imagem e alguns métodos de análise e refinamento dos resultados. Finalmente, são mostradas simulações com a técnica de segmentação aqui descrita.

2.2. Escolha de Estatísticas Locais

A escolha das estatísticas locais exerce grande influência no desempenho de uma técnica de segmentação.

Antes de escolher-se a forma de varrer uma imagem em busca de regiões, foi primeiramente necessário escolher que características da imagem são consideradas relevantes no sentido de obter-se uma classificação eficiente. Won [5] defendeu o uso dos coeficientes de uma DCT 2x2, que, na verdade, representam uma média de 4 pontos e 2 médias de 2 derivadas direcionais. Este método é particularmente eficiente em

imagens onde não exista uma grande variação entre as intensidades de "pixels" vizinhos.

Na proposta deste trabalho, investigou-se o uso de duas novas estatísticas, chamadas de "Média Direcional Mais Próxima", ou CDM (*Closest Directional Mean*), e "Menor Variância Direcional", ou SDV (*Smallest Directional Variance*). Tanto a CDM quanto a SDV são calculadas para cada ponto da imagem.

O processo para o cômputo da CDM é o seguinte: para cada pixel, tomam-se diversas direções no seu entorno e calcula-se, para cada direção, uma média dos pixels localizados naquela direção (uma média para cada direção). A média direcional que mais próxima ficar do valor do pixel em questão é a CDM associada ao referido pixel. Um exemplo de cálculo da CDM é mostrado na figura 2.1. Nela, a CDM associada ao ponto central vale 79, que é a média calculada à esquerda, já que todas as outras médias direcionais (65,4, 75 e 66,6) são mais distantes de 80 (valor da intensidade do pixel).

A SDV é calculada através de um processo semelhante: em cada direção, toma-se a variância dos pixels. A SDV associada ao pixel é o menor valor de variância direcional. Intuitivamente, a SDV se mostra então adequada para representar regiões com texturas regulares, já que associa para cada pixel uma informação de variância. Com a intenção de evitar a separação de uma textura bem caracterizada em diferentes regiões, a SDV foi limitada a um valor de saturação (*LimSat* no restante deste capítulo).

Uma justificativa para o uso da CDM e da SDV pode ser obtida ao serem considerados os pontos numa fronteira entre regiões. Se a região for razoavelmente suave, em geral pelo menos um dos 4 conjuntos de pontos tomados nas 4 direções usadas na figura 2.1 (esquerda, direita, acima e abaixo) vai pertencer à mesma região do ponto central. Desta forma, a média referente àquele conjunto tenderá a ser próxima à intensidade do pixel central. Isto quer dizer que a CDM tem o atributo de caracterizar pontos pertencentes a uma região. De forma semelhante, para regiões com texturas ou grande variação de intensidade, a SDV provê uma caracterização efetiva. Experimentos indicaram que o uso de mais do que 4 direções, número este adotado nas simulações, no cálculo da CDM e da SDV só melhora o desempenho no algoritmo caso a imagem possua objetos pontiagudos.

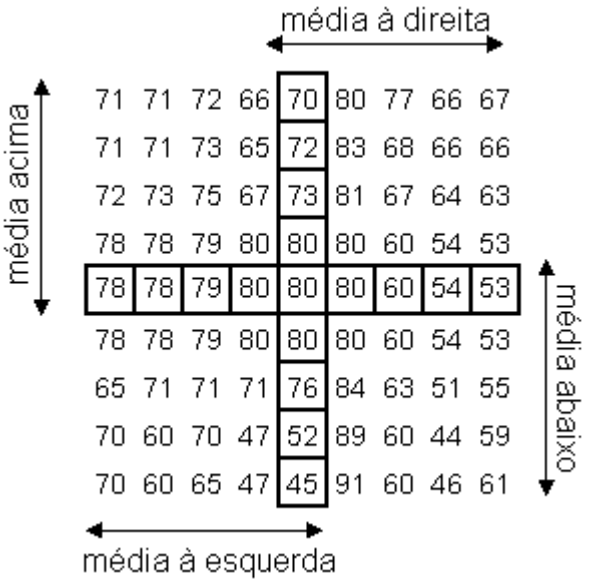


Figura 2.1. Exemplo de cálculo da mais próxima média direcional usando 4 direções. Os números correspondem às intensidades da imagem, destacando-se o valor 80 para o pixel central, de onde se deseja obter as médias direcionais. Assim, chega-se ao valor 79 para a média à esquerda, ao valor 65,4 para média à direita, ao valor 75 para média acima e ao valor 66,6 para média abaixo. Portanto, a CDM vale 79. Nota-se que, neste exemplo, a SDV também é obtida da esquerda, valendo 1.

Desta forma, um vetor de 2 dimensões (CDM e SDV) é associado a cada ponto de uma imagem representada por tons de cinza. Para imagens coloridas, o número de dimensões é 6, ou seja, foram calculadas uma CDM e uma SDV para cada uma das componentes RGB de cor.

Com o intuito de normalizar valores de CDM e SDV, o valor máximo de SDV *LimSat* é normalizado para o valor *LimVar*, enquanto que o maior valor de CDM (*pixel* = 255) é normalizado para 1.

2.3. Varredura da Imagem

Para buscar as regiões que apresentem semelhança nas estatísticas escolhidas, dividiu-se uma imagem de $K_1 N_p$ x $K_2 N_p$ pontos, K_1 e K_2 inteiros quaisquer, em K_1 x K_2 blocos de N_p x N_p pontos. O valor de N_p depende da resolução que se queira dar aos detalhes da imagem após a segmentação. No restante desta discussão, cada conjunto de $2N_p$ x $2N_p$ pixels será chamado de superbloco. Observa-se que os superblocos se

sobrepõem, pois suas coordenadas variam de N_p em N_p pontos (vide figura 2.3). A cada superbloco, aplicou-se o algorimo de Médias-K [20], com 3 iterações e usando 4 centros iniciais. O número de centros iniciais representa a quantidade máxima de detalhes por superbloco.

Ao final da aplicação do Médias-K, chega-se a um total de 4 regiões, onde cada uma delas é representada por um centro cujo vetor de estatísticas possui a menor distância euclidiana para o vetor médio de estatísticas daquela região (vide figura 2.2). Caso dois centros representantes de regiões tenham vetores de estatísticas com distância euclidiana entre si menor que um limiar pré-estabelecido, chamado a partir deste ponto de *LimCen*, as duas regiões são agrupadas.

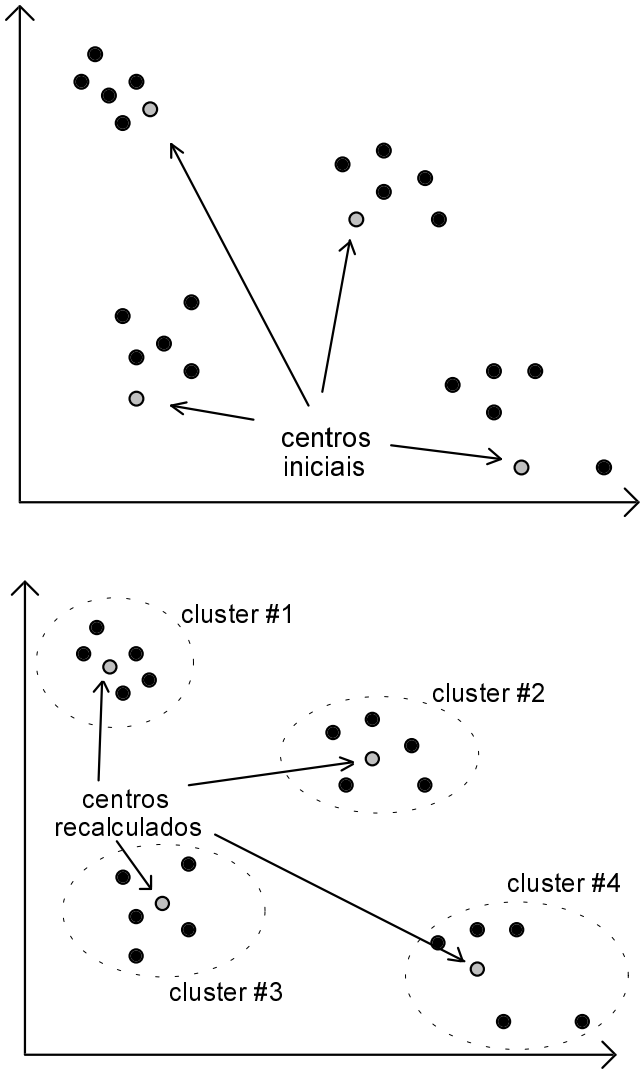


Figura 2.2. Exemplo de resultado do algoritmo Médias-K.

Como mostrado na figura 2.3, que ilustra o caso de uma imagem de 16x16 com $N_p = 4$, os blocos N_p x N_p são varridos da seguinte forma:

1) a varredura da imagem é feita em linhas de superblocos, da esquerda para a direita; os centros inicias do primeiro superbloco são arbitrados como sendo os vetores de estatísticas dos seus 4 cantos; aplica-se o Médias-K;

2) para a primeira linha de superblocos, utiliza-se uma superposição de 2 blocos N_p x N_p (fig.2.3-c e 2.3-d) e continua-se aplicando o Médias-K; agora, os centros são inicializados da seguinte forma: 2 centros são escolhidos das 2 regiões mais populosas na fronteira à direita dos dois blocos N_p x N_p superpostos (analisados no passo anterior); um terceiro centro é aquele com a maior média harmônica das distâncias aos 2 centros iniciais, no espaço de vetores de estatísticas; o quarto centro é escolhido de forma análoga, porém levando-se em conta a média harmônica aos 3 centros anteriores; apenas os pontos pertencentes às regiões correspondentes aos 2 centros iniciais e os pontos dos novos blocos poderão ser processados neste passo; a média harmônica é mais interessante do que a média aritmética porque ela garante que o novo centro estará distante de todos os centros atuais (vide esquema da figura 2.4);

3) ao iniciar-se a varredura de uma nova linha de superblocos, faz-se uma superposição de 2 blocos N_p x N_p da linha anterior de blocos (fig.2.3-e); neste caso, as 2 regiões mais populosas que cruzam a fronteira superior dos blocos superpostos participam do Médias-K;

4) a partir deste ponto (fig.2.3-f e fig.2.3-g), utiliza-se uma superposição de 3 blocos N_p x N_p, onde os 3 centros iniciais são os centros das 3 regiões mais populosas na fronteira (à esquerda e abaixo) do novo bloco e insere-se no processamento mais um centro, o mais distante (via média harmônica) dos 3 centros pré-inicializados;

5) chega-se a uma segmentação como a da fig.2.3-h, que, no exemplo, possui 5 regiões.

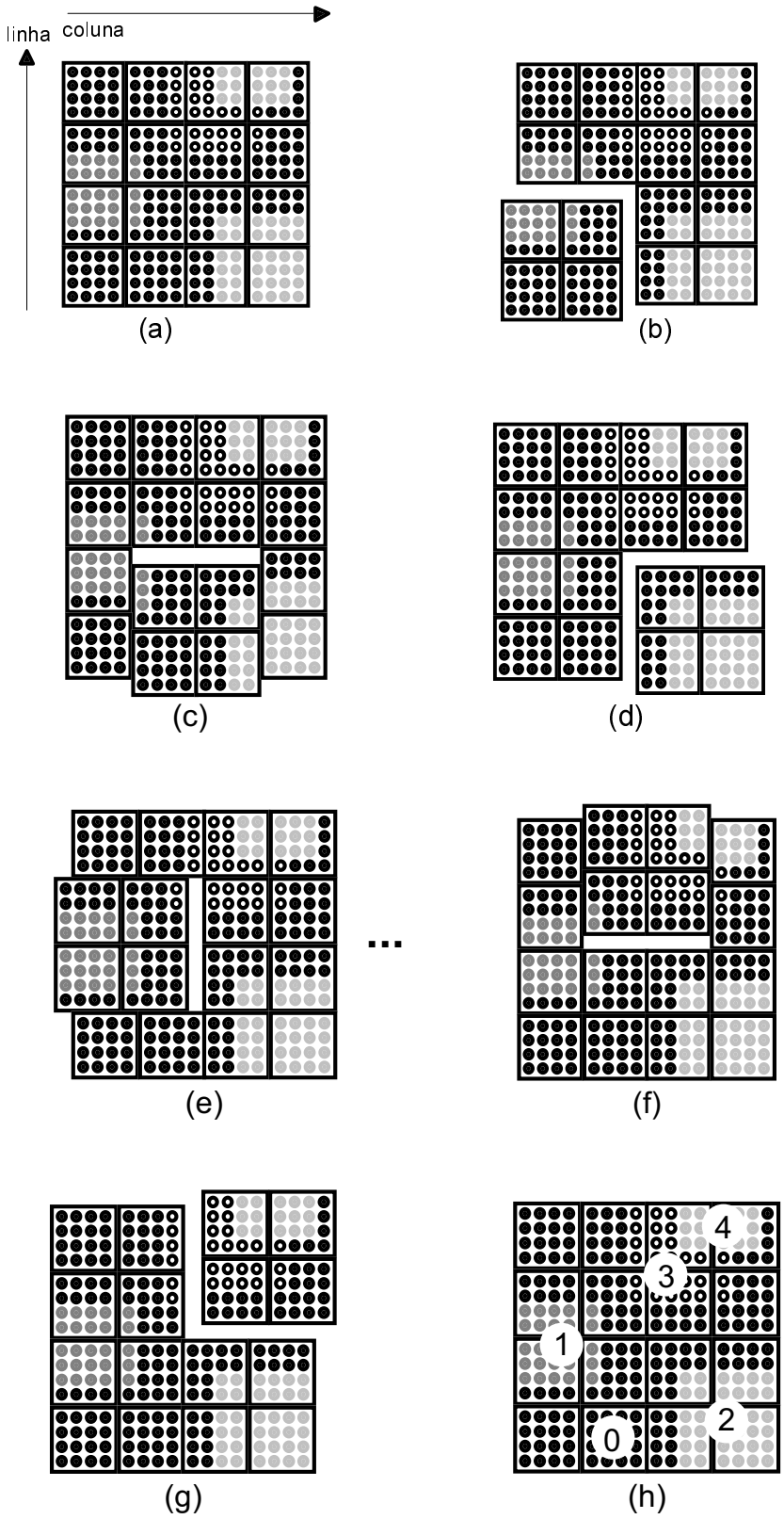


Figura 2.3. Seqüência para varrer blocos 4x4 e superblocos 8x8.

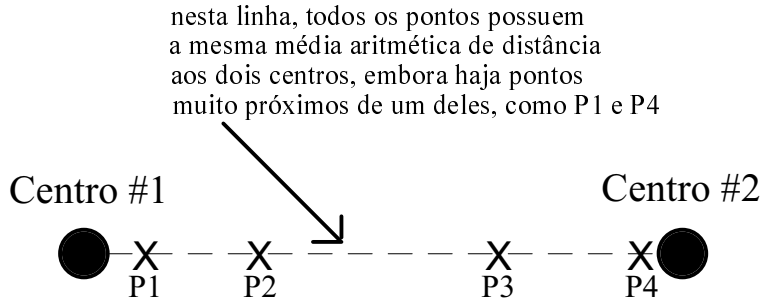


Figura 2.4. Esquema que mostra a ineficiência da média aritmética na escolha de um terceiro centro.

Uma observação importante com respeito ao método proposto é que só podem ser associados a alguma região os pontos que estiverem contidos no superbloco processado e também que estejam inicialmente associados a um dos centros que participam do Médias-K.

2.4. Refinamento da Segmentação

Após ser realizada a varredura da imagem, calcula-se um vetor médio de estatísticas que representa uma região α, a partir de agora chamado de *CodeBook[α]*.

Faz-se uma nova varredura dos pontos $X_{i,j}$ da imagem, com o objetivo de refinar o processo de segmentação. Sejam α e β regiões distintas. Primeiramente, define-se a sua fronteira como o conjunto de pontos $\{ X_{i,j} , X_{m,n} \}$ que satisfazem às condições 2.1 e 2.2.

$$X_{i,j} \in \alpha, \quad X_{m,n} \in \beta, \tag{2.1}$$

$$| i - m | \leq 1, \quad | j - n | \leq 1. \tag{2.2}$$

Considerando $v(X_{i,j})$ o vetor de estatísticas de um pixel $X_{i,j}$, se as condições

$$\| v(X_{i,j}) - v(X_{m,n}) \| \leq \text{LimCen}, \tag{2.3}$$

$$\| \text{CodeBook}[\alpha] - \text{CodeBook}[\beta] \| \leq \text{LimCen}, \tag{2.4}$$

forem satisfeitas para qualquer dos pixels da fronteira (eqs. 2.1 e 2.2), então as regiões α e β deverão ser agrupadas numa única região $\alpha \cup \beta$. Notar que a equação 2.3 significa

que os dois pixels têm estatísticas muito parecidas e que a equação 2.4 diz que suas regiões α e β também.

Em imagens com variações de intensidade (degradês) progressivos ao longo de toda a imagem, como nos ombros da Lena, é possível que regiões afastadas, com estatísticas muito diferentes, mas separadas por um degradê, sejam segmentadas numa mesma região. Para evitar este tipo de problema, cada região passou por um processo de análise. Neste processo, extraem-se os pontos X_{max} e X_{min}, que são aqueles com as estatísticas mais distantes na região. Se $\| v(X_{max}) - v(X_{min}) \| > T$, definem-se duas novas regiões associadas a X_{max} e X_{min}, através das equações 2.5 e 2.6, onde T é um fator de tolerância:

$$\| v(X_{i,j}) - v(X_{min}) \| \leq T, \tag{2.5}$$

$$\| v(X_{i,j}) - v(X_{max}) \| \leq T. \tag{2.6}$$

Os pontos $X_{i,j}$ que satisfizerem à equação 2.5 e forem conexos definem uma outra região. O mesmo procedimento é adotado com relação à equação 2.6. Se $\| v(X_{min}) - v(X_{max}) \| \leq 2T$, o termo T das equações 2.5 e 2.6 é substituído por $1/2 \| v(X_{min}) - v(X_{max}) \|$, ou seja, metade da distância entre $v(X_{min})$ e $v(X_{max})$. Este procedimento é repetido até alcançar-se a estabilidade das regiões.

Como último procedimento, proíbe-se que determinadas regiões sejam segmentadas com menos de P_{min} pontos. Caso, após os procedimentos anteriores, isto tenha acontecido, a região com menos de P_{min} pontos é eliminada e cada um de seus pontos é arbitrado como pertencente à região vizinha mais próxima.

2.5. Simulações

Para simular o algoritmo de segmentação proposto neste capítulo, foram feitos testes com as imagens "Lena" e "Hardware" construídas a partir de 256 tons de cinza. Para as duas imagens, foram adotados os seguintes parâmetros que, após aplicados junto com o algoritmo de segmentação, ofereceram resultados satisfatórios, levando-se em conta o critério subjetivo de simples observação: $N_p = 8$, $LimCen = 0{,}07$, $LimSat = 3000$, $LimVar = 0{,}14$, $P_{min} = 20$, $T = 0{,}25$.

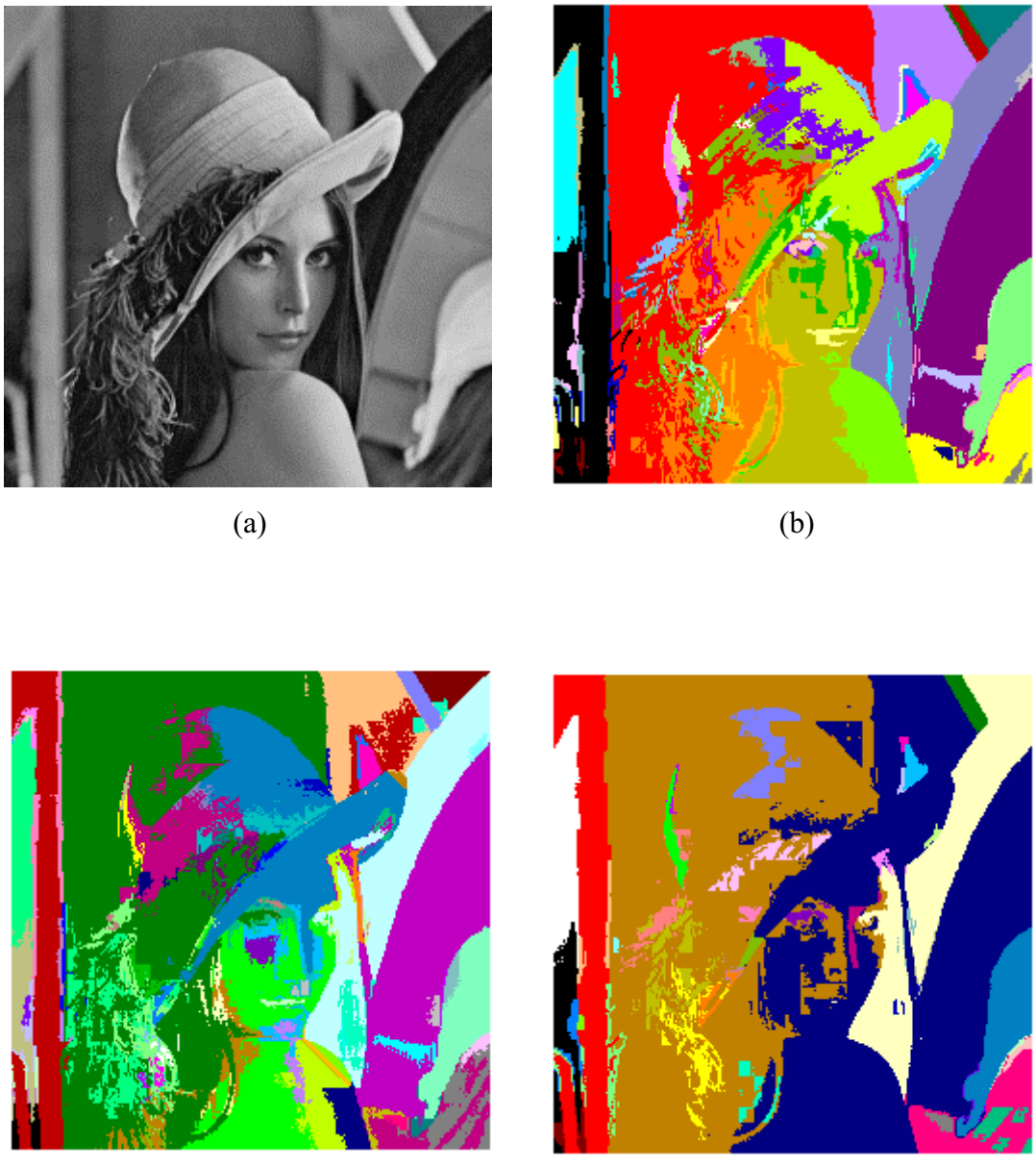


Figura 2.5. Simulação com a imagem "Lena". (a) Imagem original. (b) Segmentação em 88 regiões obtida após a aplicação do algoritmo, cada uma representada por uma cor diferente. (c) Segmentação em 75 regiões após corromper a Lena com ruído branco uniforme de média zero e variância 33. (d) Segmentação em 26 regiões após a equalização do histograma de intensidades.

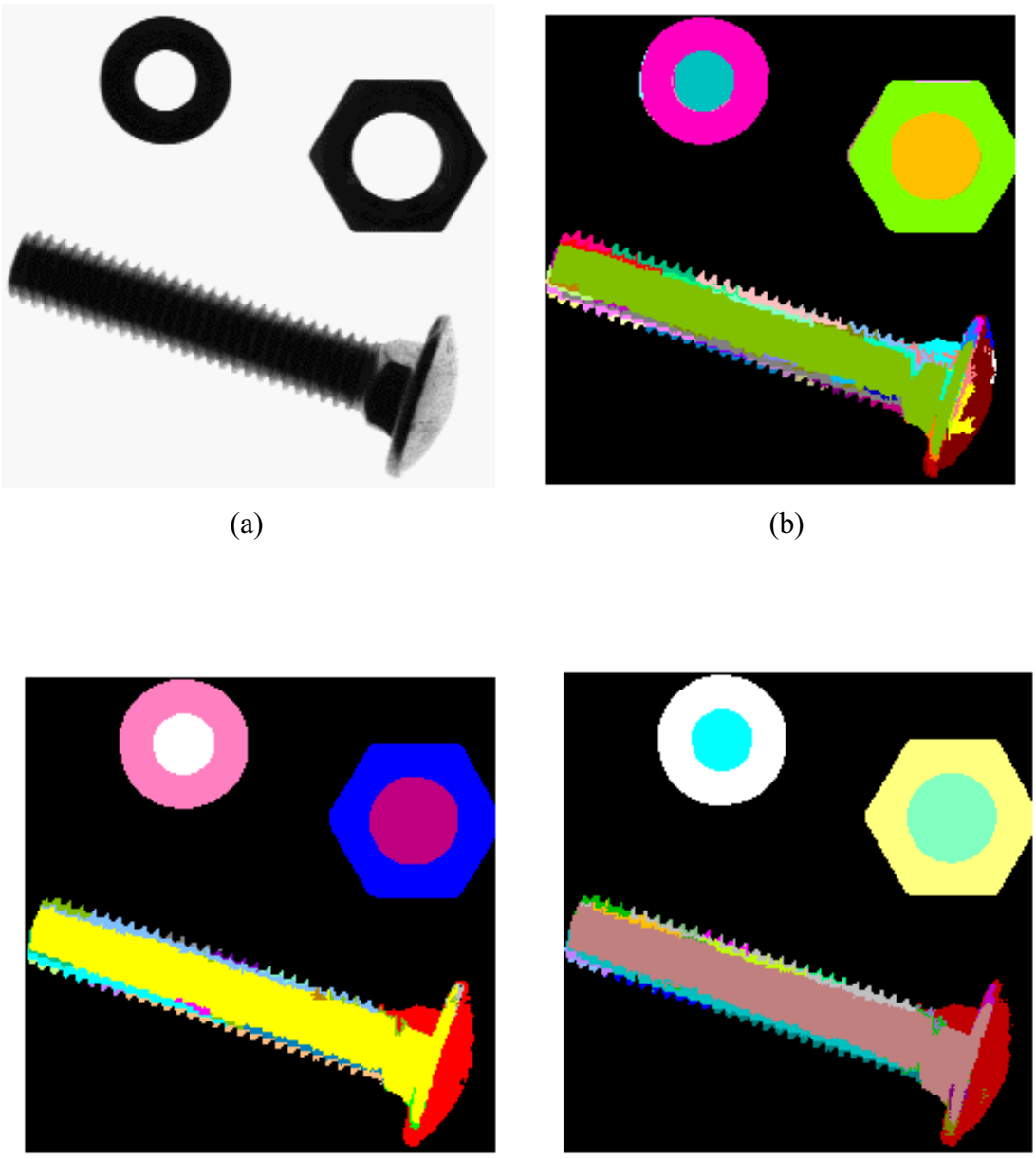


Figura 2.6. Simulação com a imagem "Hardware". (a) Imagem original. (b) Resultado da segmentação em 44 regiões. (c) Resultado da segmentação em 22 regiões. (d) Segmentação com 21 regiões resultante após corromper a imagem com ruído branco uniforme de média zero e variância 33.

As figuras 2.5 e 2.6 mostram as tomografias obtidas com este conjunto de parâmetros. A imagem "Lena" foi segmentada em 88 regiões e a "Hardware" em 44. Ao observar que a imagem "Hardware" possui poucos detalhes e um número pequeno de formas geométricas, pode-se considerar o número de 44 regiões bem alto para ela. Assim, para classes de imagem como a "Hardware", sugerem-se valores de *LimCen* e *T* iguais a 0,14 e 0,4, respectivamente. Com isto, obteve-se, para a "Hardware", uma nova segmentação com 22 regiões. As figuras 2.5 e 2.6 mostram também resultados obtidos ao adicionar-se ruído branco uniforme de média zero e variância 33 (ruído linear com 20 níveis de cinza de excursão). Visualmente, nota-se que o algoritmo continuou mantendo o mesmo tipo de padrão de segmentação após à adição de ruído 'a imagem original. Numa das simulações para a imagem "Lena", optou-se por pré-equalizar os histogramas de intensidade, o que resultou numa segmentação com apenas 26 regiões.

O esforço computacional exigido pelo algoritmo proposto é razoavelmente pequeno, considerando-se o tempo de processamento gasto em cada simulação, e pode ser facilmente implementado com um Processador Digital de Sinais para ser utilizado em aplicações em tempo real. O único procedimento que demanda um esforço maior é o que separa regiões unidas por degradês progressivos, mas este esforço não chega a afetar significativamente o desempenho em termos de tempo de processamento.

2.6. Conclusões

Neste capítulo, foi proposta uma técnica de segmentação de imagens em diferentes regiões através da aplicação do método de Médias-K num conjunto de vetores associados a pontos da imagem. Estes vetores foram construídos a partir de estatísticas locais, denominadas "Média Direcional mais Próxima" (ou CDM) e "Menor Variância Direcional" (ou SDV).

Sem dúvida, é muito difícil estabelecer um critério objetivo que meça a eficiência de um algoritmo de segmentação, já que, pela própria natureza do problema, os resultados são oferecidos sob uma forma de tomografia. Outro aspecto relevante é que, dependendo da aplicação, pode-se aceitar ou rejeitar um resultado. Por exemplo, se o interesse é extrair objetos para alguma aplicação voltada ao reconhecimento de padrões, é interessante que o algoritmo segmente a imagem em um número de regiões pequeno, preferencialmente uma região por objeto ou detalhe. Já em aplicações onde a

segmentação é utilizada como ferramenta para compressão, torna-se importante que o algoritmo ressalte em regiões diferentes todos os detalhes dos objetos.

Considerando-se que o objetivo do algoritmo de segmentação aqui proposto é servir como ferramenta de pré-processamento para os métodos que são desenvolvidos na tese daqui por diante, pode-se aceitar, sob o critério de qualidade subjetiva, as tomografias obtidas após as simulações como satisfatórias, já que, mesmo quando foi adicionado ruído à imagem original, praticamente todos os detalhes das imagens foram ressaltados, como os contornos do rosto e dos braços da Lena e as formas geométricas (círculos, hexágonos, cabeça do parafuso, etc.) da imagem "Hardware". Há de observar-se que demais técnicas da literatura também apresentam bons resultados, contudo estabelecem algumas restrições não impostas pelo trabalho aqui descrito, como por exemplo:

- no trabalho [3], havia o conhecimento prévio de estatísticas de textura, já que as formas geométricas foram construídas utilizando um processo de síntese computacional;

- no trabalho [4], as estatísticas do fundo da imagem poderiam facilmente ser retiradas dos cantos da imagem, pois pressupunha-se a existência de uma imagem principal no centro (por exemplo, um apresentador de tele-jornal) que devesse ser segmentada em um conjunto de formas geométricas simples;

- no trabalho [5], não se impõe qualquer restrição, mas são oferecidos resultados de segmentação, para a imagem da Lena, com um número elevado de regiões se comparado com os resultados oferecidos pelo método aqui proposto, isto se for levada em conta a resolução de cada região em função do número de detalhes que ela representa.

Portanto, o algoritmo de segmentação aqui apresentado está apto a servir como ferramenta intermediária de processamento para os demais algoritmos propostos nesta tese.

3. Filtros Discriminativos

A detecção de gabaritos numa imagem é um passo intermediário importante para um algoritmo de visão computacional. Geralmente, a idéia básica deste tipo de algoritmo é receber uma imagem como entrada e gerar, como saída, um conjunto de linhas, bordas, quinas ou outras formas geométricas bem conhecidas. Recentemente, Ben-Arie e Rao propuseram um filtro linear, chamado de filtro discriminativo, que, dado um gabarito de sinal, maximiza a concentração de energia numa das amostras do sinal de saída do filtro. Neste capítulo, propõe-se uma generalização deste método para duas dimensões, formulando-se o casamento de gabaritos como um problema de otimização multivariável.

3.1. Introdução

O problema do casamento de gabaritos tem sido encarado com as mais diversas abordagens, como, por exemplo, nas referências [11] e [15]. Nelas, foram construídos detetores de quinas baseados nas estatísticas locais da imagem. Já Ben-Arie e sua equipe têm trabalhado em um novo tipo de detetores, chamados por eles de EXM, iniciais de *"**Ex**pansion **M**atching"* [6-7][17-18][24]. Estes detetores são baseados na decomposição de um sinal numa base especial de funções construída para um determinado gabarito. Nestes trabalhos, um gabarito é detectado se uma determinada função-objetivo, calculada sobre as amostras da saída do filtro, possuir um valor superior a um limiar. Detalhes podem ser encontrados em [6-7]. A formulação usada refere-se a gabaritos de sinais em uma dimensão, ou seja, para seu uso em aplicações envolvendo imagens, é necessário algum procedimento de obtenção de valores principais da imagem, de forma que se possa reduzir a dimensão do sinal de imagem de 2 para 1.

Neste capítulo, propõe-se uma generalização bidimensional para o método em [6]. Inicialmente, descreve-se uma formulação matemática em duas dimensões, incluindo uma função-objetivo criada após expandir a definição do caso em uma dimensão [6]. Nas seções seguintes, são propostas outras duas funções-objetivos para serem usadas na otimização dos filtros discriminativos. Em seguida, o método proposto é testado em um sistema de

detecção de gabaritos. Na finalização do capítulo, são mostrados os resultados experimentais e algumas alternativas para melhorar o desempenho dos sistemas de detecção.

3.2. Formulação em uma Dimensão

Desde 1993, Ben-Arie, Rao e outros vêm publicando [6-7][17-18][24] trabalhos a respeito de um novo detetor de padrões, chamado por eles de EXM, iniciais de "***Ex**pansion **M**atching*". Com estes detetores, criou-se uma nova alternativa para a detecção de determinadas características em imagens, como junções [7] e bordas [17]. Nesta seção, será resumido o trabalho [6], que deu origem aos seguintes.

Tradicionalmente, para detectar um gabarito ("template") de imagem, tem-se a ferramenta de projetar uma imagem num subespaço vetorial gerado pelos diversos gabaritos. Isto leva a um processo com um exaustivo esforço computacional. Basicamente, deseja-se estimar uma imagem multidimensional $\hat{u}(x,y,...)$ a partir da projeção da imagem original $u(x,y,...)$ numa base de gabaritos $\{\phi_i\}$, $i = 1,...,t$, escolhidos de acordo com a necessidade do problema. Desta forma, recai-se no problema de encontrar os coeficientes $\{c_i\}$ (equação 3.1) que aproximem $\hat{u}(x,y,...)$ de $u(x,y,...)$ com o menor erro quadrático de aproximação possível.

$$\hat{u}(x,y,...) = \sum_{i=1}^{t} c_i \, \phi_i(x,y,...) \quad . \tag{3.1}$$

Pelo princípio da ortogonalidade, o menor erro é conseguido projetando-se $u(x,y,...)$ no subespaço gerado pelos $\{\phi_i\}$, ou seja, tornando o erro perpendicular à estimativa. Desta forma, para os t valores de i, precisa-se garantir que

$$< u-\hat{u} \, , \, \phi_i > = 0 \quad . \tag{3.2}$$

Substituindo a expressão da equação 3.1 na equação 3.2 e abrindo o somatório, chega-se a um conjunto de *t* equações (equação 3.3) que pode ser resumido pela expressão matricial das equações 3.4 e 3.5:

$$< \phi_i , \phi_1 > c_1 + < \phi_i , \phi_2 > c_2 + ... + < \phi_i , \phi_t > c_t = < u , \phi_i >, \quad i = 1,2,...,t \tag{3.3}$$

$$\begin{bmatrix} < \phi_1 , \phi_1 > & < \phi_1 , \phi_2 > & ... & < \phi_1 , \phi_t > \\ < \phi_2 , \phi_1 > & < \phi_2 , \phi_2 > & ... & < \phi_2 , \phi_t > \\ ... & ... & ... & ... \\ < \phi_t , \phi_1 > & < \phi_t , \phi_2 > & ... & < \phi_t , \phi_t > \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ ... \\ c_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} < u , \phi_1 > \\ < u , \phi_2 > \\ ... \\ < u , \phi_t > \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

ou

$$\mathbf{R}_{\phi\phi}\, \mathbf{C} = < \mathbf{\Phi} , \mathbf{\Phi}^t > \mathbf{C} = < \mathbf{\Phi} , u > \quad . \tag{3.5}$$

Caso o conjunto $\{\phi_i\}$ seja linearmente independente, então, além de $\mathbf{R}_{\phi\phi}$ ser positiva definida [6], o sistema resumido pelas equações 3.4 ou 3.5 tem solução única para **C**. Apesar de $\mathbf{R}_{\phi\phi}$ ser simétrica, o cálculo da solução do sistema envolve a inversão de uma matriz de dimensão alta, implicando em grande complexidade computacional. Ao menos, esta inversão pode ser feita de forma independente da imagem, o que permite que seu cálculo seja feito em caráter *off-line*.

Em tal abordagem recente, Ben-Arie e Rao [6] criaram um novo indicador de eficiência para sistemas de detecção de gabaritos: a DSNR - *Discriminative Signal To Noise Ratio,* definida como

$$DSNR_{log} = 10 \log \left[\frac{c_j^2}{\sum_{i=1,\, i\neq j}^{t} c_i^2} \right]$$

ou $$DSNR = \frac{c_j^2}{\sum_{i=1,\, i\neq j}^{t} c_i^2} = \frac{c_j^2}{(\sum_{i=1}^{t} c_i^2) - c_j^2} \quad . \qquad (3.6)$$

Como pode ser observado na equação 3.6, a DSNR representa o quanto um sistema pode concentrar energia num único vetor da base (o de índice *j*). Teoricamente, um sinal alinhado com um destes vetores teria uma DSNR infinita.

Ben-Arie e Rao pesquisaram também [6] pelo operador linear ótimo que, quando circularmente convoluído com o sinal de entrada, conseguisse melhor concentrar a energia na amostra de saída c_j, ou seja, maximizando a DSNR. Para tal, seja θ o operador procurado e **[U]** a matriz definida pela equação 3.7 a partir de amostras do sinal de entrada. Assim, o operador necessita de satisfazer à condição da equação 3.8.

$$\begin{bmatrix} u(1) & u(2) & ... & u(t) \\ u(t) & u(1) & ... & u(t-1) \\ ... & ... & ... & ... \\ u(2) & u(3) & ... & u(1) \end{bmatrix} = \mathbf{[U]} \quad , \qquad (3.7)$$

$$\mathbf{[U]}\,\theta = \mathbf{C} \quad , \qquad (3.8)$$

onde

$$\boldsymbol{\theta} = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_t \\ \dots \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad . \tag{3.9}$$

Observando-se a matriz **[U]**, definida pela equação 3.7, nota-se que, nesta abordagem, não se têm diversos gabaritos, mas sim diferentes deslocamentos de um mesmo gabarito.

Para maximizar a DSNR, definida pela equação 3.6, é fácil ver que basta maximizar o termo

$$\frac{c_j^2}{(\sum_{i=1}^{t} c_i^2) - c_j^2} \rightarrow \max \tag{3.10}$$

ou minimizar

$$\frac{\sum_{i=1}^{t} c_i^2}{c_j^2} \rightarrow \min \quad . \tag{3.11}$$

De acordo com a equação 3.8, nota-se que o numerador da expressão em (3.11) nada mais é do que a norma ao quadrado do vetor $\mathbf{C} = \mathbf{[U]}\ \boldsymbol{\theta}$. Definindo-se $\mathbf{U}_j$ como sendo o vetor obtido ao se transpor a linha *j* de **[U]**, chega-se à conclusão de que é necessário então minimizar

$$\frac{(\mathbf{[U]}\ \boldsymbol{\theta})^t (\mathbf{[U]}\ \boldsymbol{\theta})}{(\mathbf{U}_j\ \boldsymbol{\theta})^2} = \frac{\boldsymbol{\theta}^t \mathbf{[U]}^t \mathbf{[U]}\ \boldsymbol{\theta}}{(\mathbf{U}_j\ \boldsymbol{\theta})^2} \rightarrow \min \quad . \tag{3.12}$$

Calculando o gradiente da expressão 3.12, utilizando as regras das equações 3.13 e 3.14 (para uma matriz **M**, uma constante *k* e um vetor **v** genéricos) e igualando-o a zero, tem-se a condição da equação 3.15, o que obviamente implica no resultado da equação 3.16.

$$\frac{\partial [\, \mathbf{v}^t k \,]}{\partial \mathbf{v}} = k \quad , \tag{3.13}$$

$$\frac{\partial [\, \mathbf{v}^t \mathbf{M}\ \mathbf{v} \,]}{\partial \mathbf{v}} = \mathbf{M}\,\mathbf{v} + \mathbf{M}^t \mathbf{v} \quad , \tag{3.14}$$

$$\frac{2 \left(\mathbf{U}_j \, \theta^t \, [\mathbf{U}]^t \, [\mathbf{U}] \, \theta \; - \; [\mathbf{U}]^t \, [\mathbf{U}] \, \theta \, \theta^t \, \mathbf{U}_j \right)}{\left(\mathbf{U}_j^t \, \theta \right)^3} = 0 \quad , \tag{3.15}$$

$$\mathbf{U}_j \, \theta^t \, [\mathbf{U}]^t \, [\mathbf{U}] \, \theta = [\mathbf{U}]^t \, [\mathbf{U}] \, \theta \, \theta^t \, \mathbf{U}_j \quad . \tag{3.16}$$

Com uma análise dimensional dos componentes presentes na equação 3.16, nota-se que os termos $\theta^t \, [\mathbf{U}]^t \, [\mathbf{U}] \, \theta$ e $\theta^t \, \mathbf{U}_j$ são números adimensionais que representam constantes que apenas têm o objetivo de normalizar a amplitude do operador θ procurado. Desta forma, chega-se facilmente ao resultado da equação 3.17.

$$\theta = k \left([\mathbf{U}]^t \, [\mathbf{U}] \right)^{-1} \mathbf{U}_j = k \left(\mathbf{R}_{uu}^{\ t} \right)^{-1} \mathbf{U}_j \quad , \tag{3.17}$$

onde *k* é uma constante de normalização e $\mathbf{R}_{uu} = [\mathbf{U}]^t \, [\mathbf{U}]$.

A figura 3.1 resume então a idéia em que se baseou o critério discriminativo de comparação entre dois gabaritos. Como nela pode ser observado, é calculado um filtro discriminativo Θ para o gabarito original, com o qual deseja-se verificar se há o casamento com um segundo gabarito. Para tal verificação, realiza-se a convolução entre Θ e o gabarito

a ser casado e calcula-se a relação sinal-ruído discriminativa (DSNR) gerada na saída do filtro. Quanto maior este valor de DSNR, mais parecidos serão os dois gabaritos.

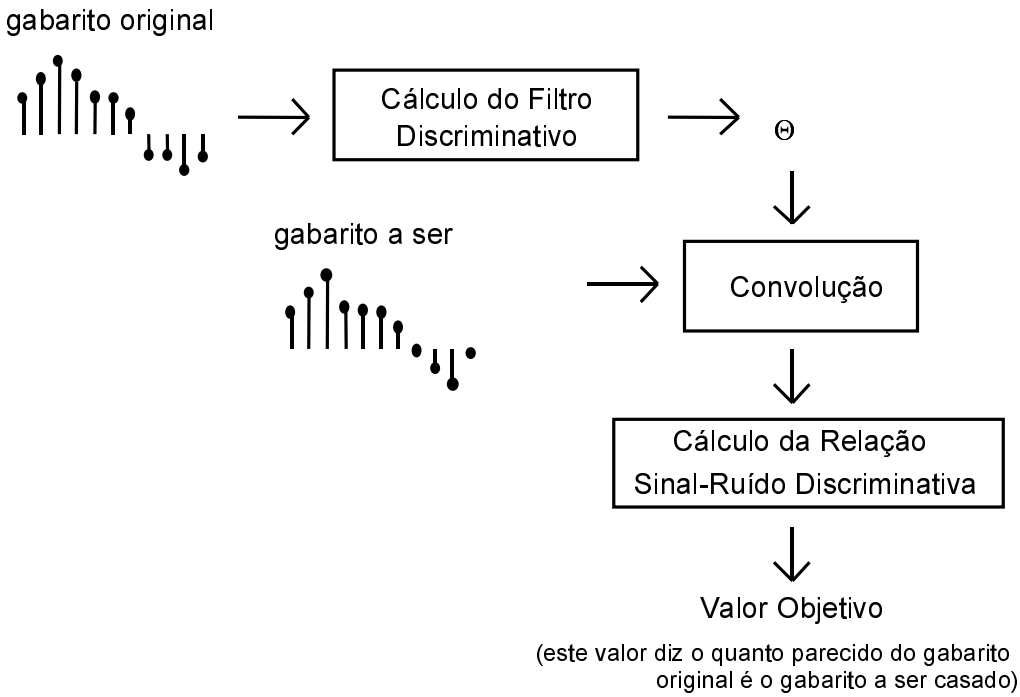


Figura 3.1. Critério objetivo para a comparação entre dois gabaritos.

3.3. Filtros Discriminativos em Duas Dimensões

Quando se usam filtros discriminativos para a detecção de gabaritos, geralmente se deseja concentrar a energia do sinal de saída em uma de suas amostras. A relação sinal-ruído discriminativa (DSNR), definida em [6], é uma medida que leva em conta não apenas a energia em uma amostra, mas também considera a energia em relação às outras amostras. Para os filtros discriminativos em duas dimensões, define-se então uma função-objetivo discriminativa ($DSNR_2$) como sendo:

$$DSNR_2 = \frac{c_{i,j}^2}{(\sum_m \sum_n c_{m,n}^2) - c_{i,j}^2} \quad (3.18)$$

Os coeficientes $c_{m,n}$ são obtidos após uma convolução bidimensional (vide figura 3.2) entre a janela de entrada do sinal de imagem $u_{m,n}$ e um operador linear **Θ**, com resposta ao impulso $\theta_{m,n}$, que se quer calcular para um determinado gabarito a ser casado. O coeficiente $c_{i,j}$ é aquele onde se deseja concentrar a energia do sinal de saída do filtro.

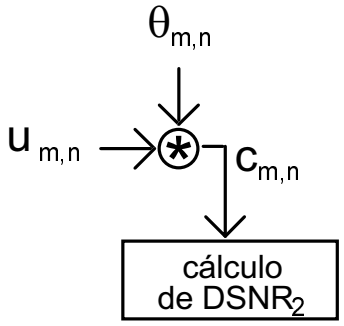


Figura 3.2. Esquema simples para o cálculo de $DSNR_2$.

Nesta abordagem proposta, não se faz qualquer restrição quanto às dimensões tanto da janela de entrada, quanto para o operador **Θ** (posteriormente, nos próximos capítulos, serão apresentados métodos para convolutores circulares). Seja **U** uma janela $M_1 \times N_1$ e **Θ** um filtro $M_2 \times N_2$. Portanto, a imagem resultante após a convolução linear entre **U** e **Θ** tem dimensões $M_1+M_2-1 \times N_1+N_2-1$ e pode ser expressa como:

$$c_{m,n} = \sum_{m'} \sum_{n'} u_{m-m',n-n'} \, \theta_{m',n'} \quad . \quad (3.19)$$

É fácil ver que a maximização de $DSNR_2$ (vide equação 3.18) é equivalente à minimização da seguinte expressão:

$$f(\Theta) = \frac{\sum_m \sum_n c_{m,n}^2}{c_{i,j}^2} \quad . \tag{3.20}$$

Da equação 3.19, a função $f(\Theta)$ a ser minimizada torna-se:

$$f(\Theta) = \frac{\sum_m \sum_n \left(\sum_{m'} \sum_{n'} u_{m-m',n-n'} \theta_{m',n'} \right)^2}{\left(\sum_{m'} \sum_{n'} u_{i-m',j-n'} \theta_{m',n'} \right)^2} \quad . \tag{3.21}$$

$f(\Theta)$ é mínimo quando seu gradiente for igual a 0, ou seja:

$$\nabla f(\Theta)_{r,s} = \frac{\partial f(\Theta)}{\partial \theta_{r,s}} = \mathbf{0} \qquad \begin{matrix} r = 1,...,M_2 \\ s = 1,...,N_2 \end{matrix} \quad . \tag{3.22}$$

A condição acima recai num sistema não linear de M_2N_2 equações. Para obter-se uma solução numérica, pode-se usar um método baseado em gradientes. A expressão para $\nabla f(\Theta)$ é

$$\nabla f(\Theta)_{r,s} = 2 \left\{ c_{i,j} \sum_m \sum_n u_{m-r,n-s} c_{m,n} - u_{i-r,j-s} \sum_m \sum_n c_{m,n}^2 \right\} c_{i,j}^{-3} \quad . \tag{3.23}$$

Uma boa estimativa inicial para o filtro é importante para este método baseado em gradiente. Sugere-se o uso do filtro casado em relação a **U**.

É claro que métodos baseados em gradientes são limitados, devido ao fato de haver muitos mínimos locais. As figuras 3.3 e 3.4 ilustram o método proposto usando-se quinas em janelas 7x7 como gabaritos. O filtro operador Θ também foi escolhido com a dimensão 7x7 e as coordenadas da amostra onde se deva concentrar a energia do sinal de saída, ou seja, *(i,j)* da equação (3.18), foram escolhidas na amostra central do sinal de saída.

3.4. Abordagem Tensorial

Como pode ser observado, a análise feita na seção anterior não impõe restrições ao tipo de convolução adotado (linear ou circular).

Para uma convolução circular, pode-se expandir a abordagem feita por Ben-Arie e Rao [6], porém, ao invés de utilizar-se o cálculo matricial, deve-se utilizar-se o cálculo tensorial. Neste caso, a matriz **[U]** e os vetores θ e **C**, que aparecem na equação 3.8, seriam respectivamente um tensor de 3ª ordem e duas matrizes quadradas.

É fácil ver que, nesta abordagem tensorial, $\mathbf{R_{uu}}$ também seria um tensor de 3ª ordem e $\mathbf{U_j}$ seria uma matriz quadrada. Sendo assim, o cálculo do operador θ resultante (equação 3.17) iria requerer a inversão de um tensor de 3ª ordem, o que não seria de cálculo trivial.

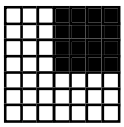
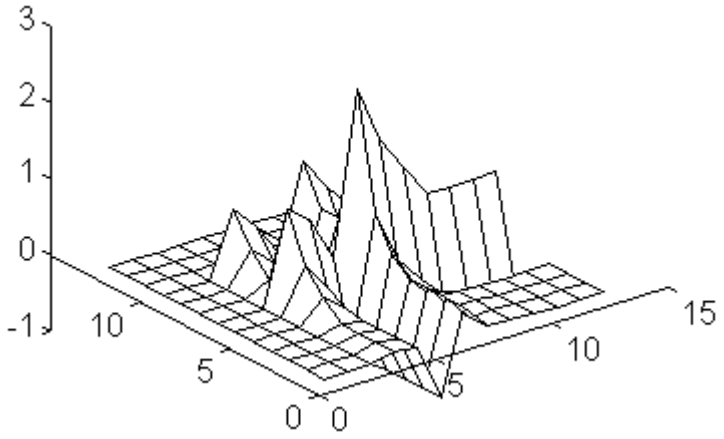
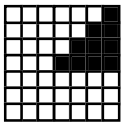
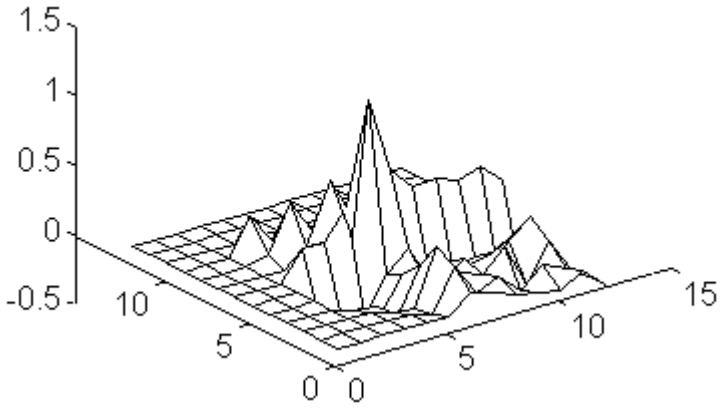
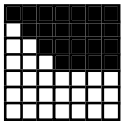
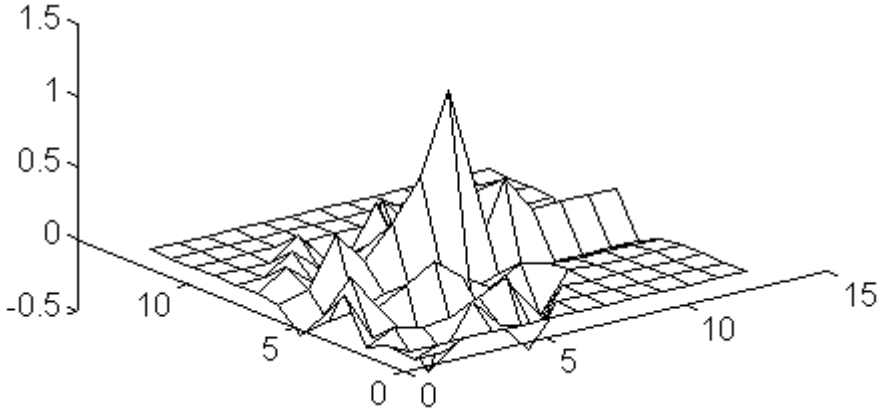
Gabarito	$c_{m,n}$
 $DSNR_2 = 0{,}2861$	
 $DSNR_2 = 0{,}4086$	
 $DSNR_2 = 0{,}4485$	

Figura 3.3. Coeficientes $c_{m,n}$ obtidos após uma convolução linear entre o gabarito proposto e seu respectivo **Θ** calculado.

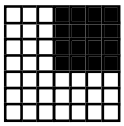
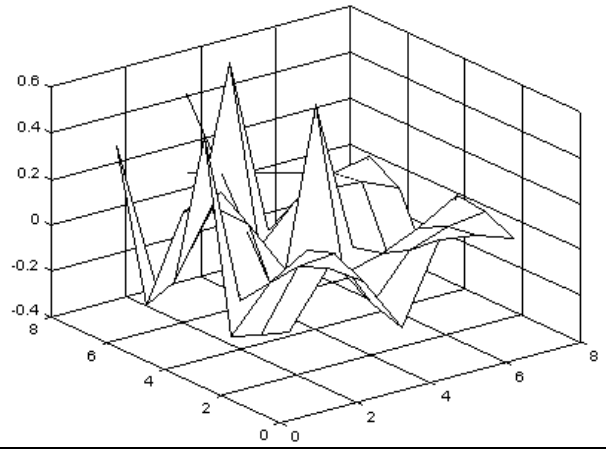
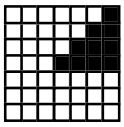
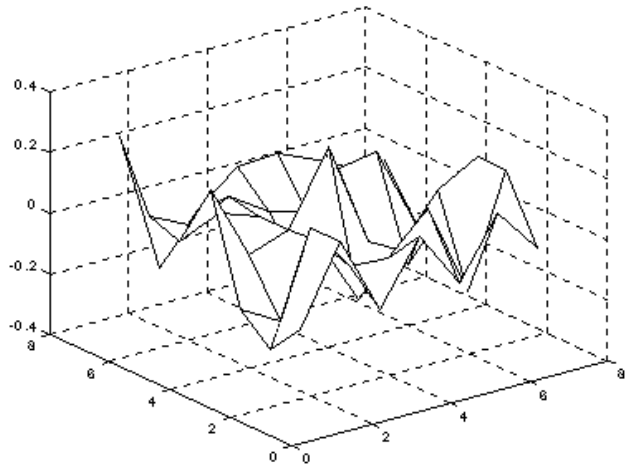
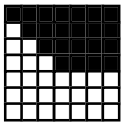
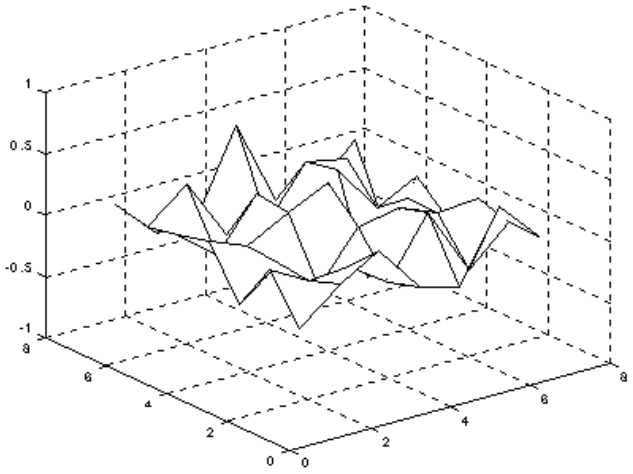
Gabarito	$\theta_{m,n}$
 $DSNR_2 = 0{,}2861$	
 $DSNR_2 = 0{,}4086$	
 $DSNR_2 = 0{,}4485$	

Figura 3.4. Coeficientes $\theta_{m,n}$ obtidos após o treinamento.

3.5. Abordagem Alternativa

Com a formulação da seção 3.3, encontra-se o Θ que maximiza a $DSNR_2$ para um dado gabarito. Contudo, ela não prevê que um gabarito diferente forneça uma $DSNR_2$ maior quando filtrado com o Θ, o que pode ocasionar falsas detecções. Vide esquema ilustrativo da figura 3.5.

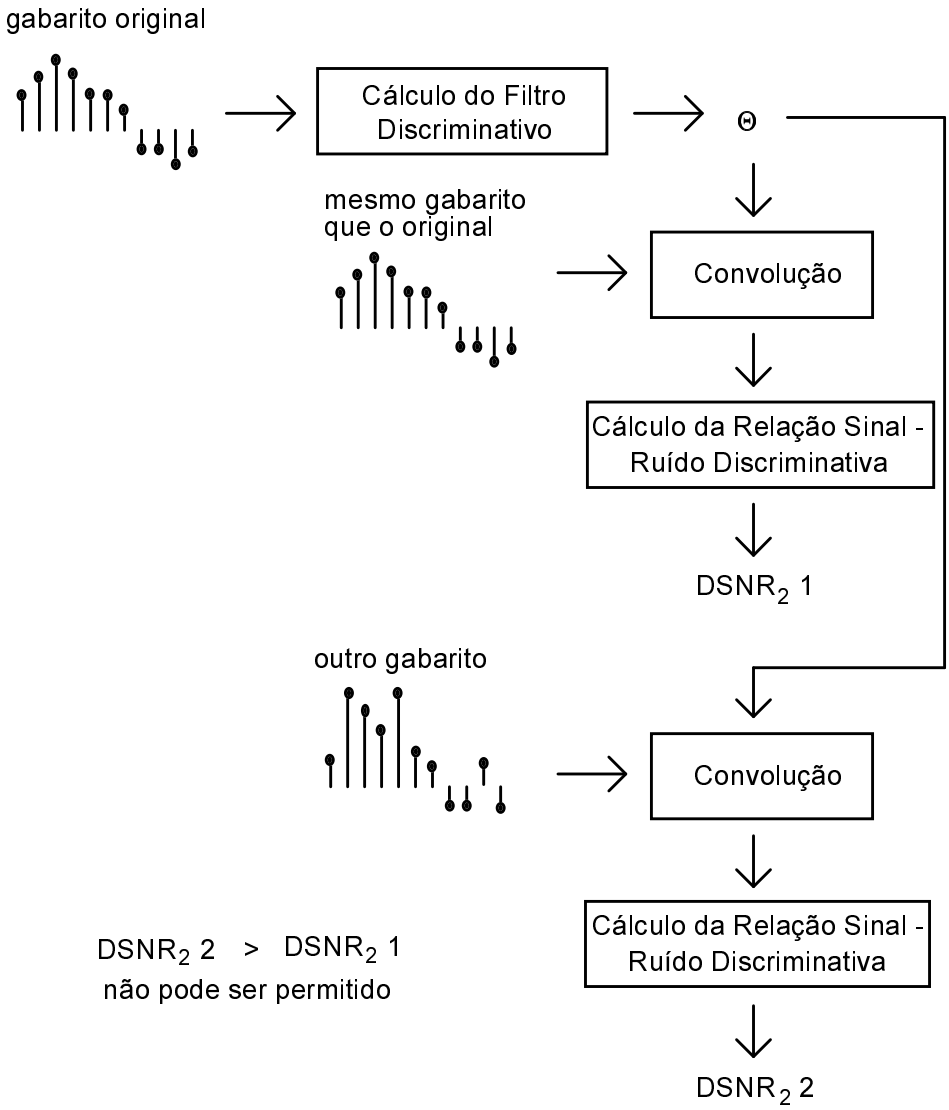


Figura 3.5. Princípio da abordagem alternativa.

Um caminho possível para a solução deste problema é considerar a $DSNR_2$ como uma função de $\boldsymbol{\Theta}$ e de $\mathbf{U}$ e procurar por um $\boldsymbol{\Theta}$ que maximize a $DSNR_2$ quando $\mathbf{U}$ variar. Matematicamente, isto exige que

$$\partial f(\mathbf{U},\boldsymbol{\Theta}) / \partial u_{r,s} = 0 \qquad r = 1,...,M_1;\ s = 1,...,N_1 \qquad . \tag{3.24}$$

Como o sistema de equações acima é de difícil solução analítica, cria-se uma função-objetivo, agora chamada de **potencial de discriminação** - $g(\boldsymbol{\Theta})$, que é igual à soma dos quadrados dos termos da equação 3.24, ou seja:

$$g(\boldsymbol{\Theta}) = \sum_r \sum_s \left(\partial f(\mathbf{U},\boldsymbol{\Theta}) / \partial u_{r,s}\right)^2 =$$

$$\sum_r \sum_s \left\{ c_{i,j} \left\{ \sum_m \sum_n \theta_{m-r,n-s}\, c_{m,n} \right\} - \theta_{i-r,j-s} \left\{ \sum_m \sum_n c_{m,n}^2 \right\} \right\}^2 \quad . \tag{3.25}$$

Minimizar $g(\boldsymbol{\Theta})$ na equação 3.25 é equivalente a resolver o sistema da equação 3.24. A maior restrição em buscar o mínimo de $g(\boldsymbol{\Theta})$ é que ele pode estar associado ao mínimo (indesejado) ou ao máximo de $DSNR_2$ (desejado).

A equação 3.25 foi resolvida numericamente para os gabaritos apresentados na seção 3.3, cujos filtros obtidos foram aproveitados como solução inicial para este método. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 3.1. A aplicação dos filtros obtidos em imagens reais está mostrada na seção de simulações. Como nela será visto, muitas falsas detecções aconteceram, mais até do que nas simulações utilizando o método da seção 3.3. Isto decorre do fato de poder-se encontrar um mínimo global de $g(\boldsymbol{\Theta})$ quando $c_{i,j} = 0$, que corresponde a uma situação com $DSNR_2 = 0$.

Tabela 3.1. $DSNR_2$ e $g(\Theta)$ obtidos com a abordagem alternativa.

Gabarito	$DSNR_2$	$g(\Theta)$
quina de 90^0	0,1851	15,55
quina de 45^0	0,3721	3,97
quina de 135^0	0,0953	31,48

3.6. Abordagem Mista

Como mostrado nas simulações (vide seção 3.9), a abordagem da seção anterior nem sempre oferece o melhor desempenho em um sistema de detecção de gabaritos. Isto indica que um valor alto de $DSNR_2$ também é importante. As duas abordagens anteriores parecem ser conflitantes porque elas foram desenvolvidas a partir de dois indicadores diferentes: as funções $f(\Theta)$ e $g(\Theta)$. Um compromisso entre as duas deve então ser usado. Assim, define-se uma terceira função-objetivo, chamada de **função de detecção** - $DF(\Theta)$, que combina a $DSNR_2(\Theta)$ com $g(\Theta)$:

$$\begin{aligned} DF(\Theta) &= (1 - K)\,(DSNR_2(\Theta) - Z)^{-2} + K\, g(\Theta) \\ &= (1 - K)\,(f(\Theta) - 1 - 1/Z)^{2} + K\, g(\Theta), \end{aligned} \qquad (3.26)$$

onde Z é um valor de $DSNR_2$ satisfatório a ser atingido e K é uma constante que pondera $f(\Theta)$ e $g(\Theta)$.

Os pares ordenados $(g(\Theta),DSNR_2)$ alcançados progressivamente durante a busca da solução mista, utilizando o método baseado no gradiente, forneceu as curvas da figura 3.6. A solução inicial usada foi a mesma da seção 3.5.

A figura 3.7 mostra o operador e o sinal de saída gerados para quinas de 135^0 .

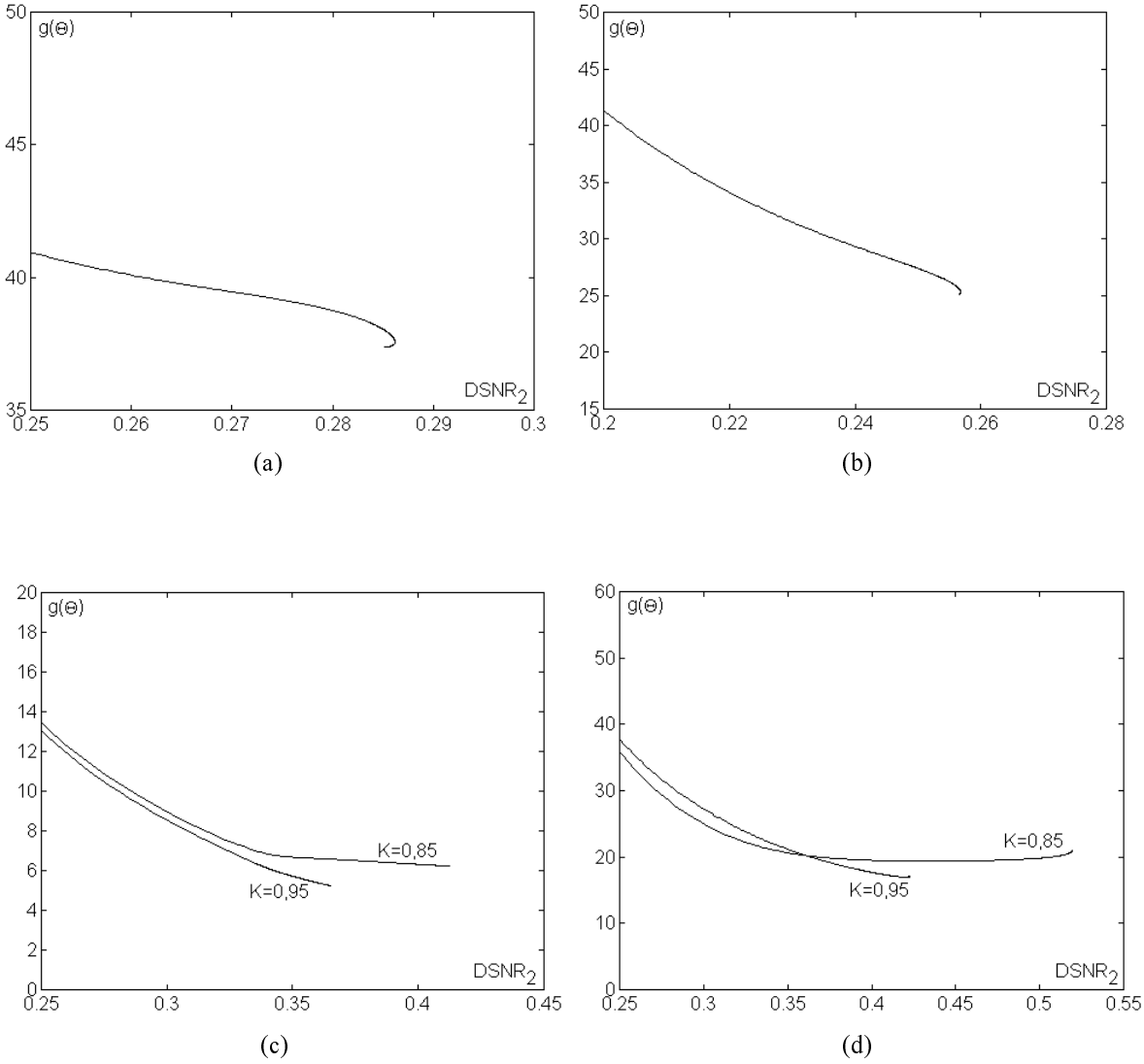


Figura 3.6. Pares ordenados ($g(\Theta)$,$DSNR_2$) alcançados progressivamente durante a busca da solução mista, utilizando o método baseado no gradiente, com Z=1, para quinas de (a) 90^0 (K=0,85), (b) 90^0 (K=0,95), (c) 45^0 e (d) 135^0.

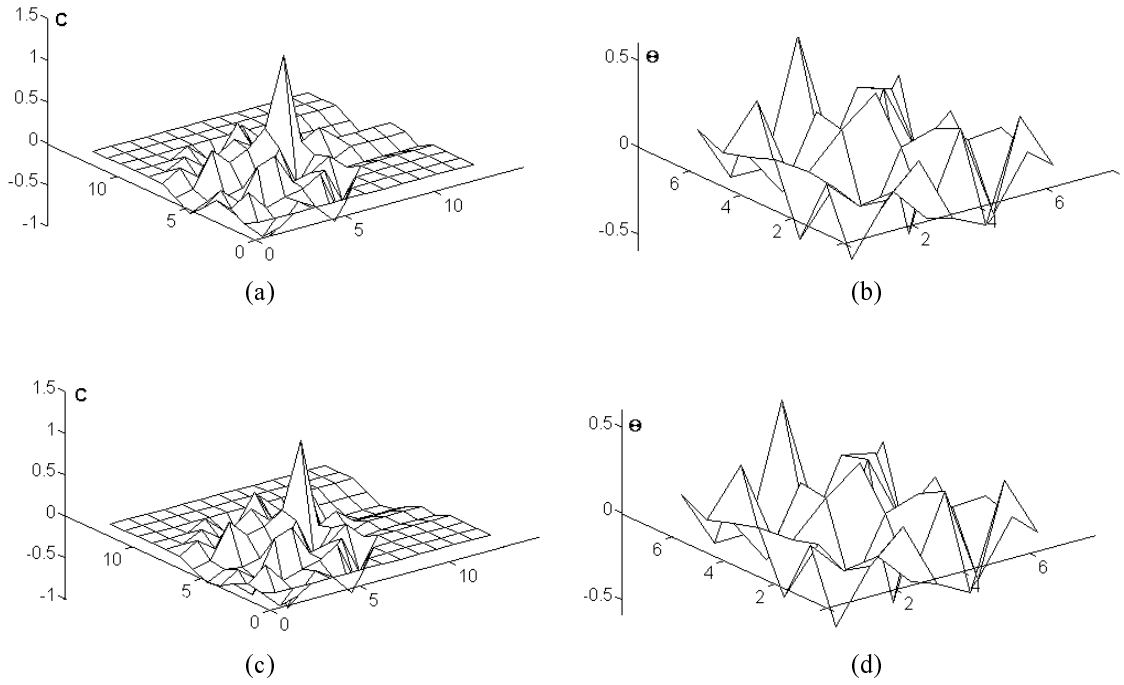


Figura 3.7. C (a,c) e Θ (b,d) para a quina de 135º com K=0,85 (a,b) e K=0,95 (c,d).

3.7. Método Prático para a Detecção de Gabaritos

A aplicação natural para o algoritmo proposto é a detecção de padrões bidimensionais de imagens. Como mostrado na figura 3.8, a idéia básica é calcular **Θ** para um determinado gabarito. Então, este operador é usado para filtrar uma imagem que é gerada após uma transformação apropriada de uma janela da imagem original. A janela de saída que fornecer um valor de $DSNR_2$ superior a um limiar é considerada morfologicamente casada com o gabarito original (aquele que gerou **Θ**).

Com o objetivo de não se necessitar de computar diferentes **Θ** para cada gabarito (um para cada rotação de **U**), o que aumentaria bastante o número de filtros a serem usados, é realizada uma pré-rotação da janela que contém o sinal de imagem. Faz-se esta rotação para alinhar-se a janela da imagem com a janela utilizada no cálculo de **Θ**. O bloco "rotação adequada", da figura 3.8, representa esta etapa. Mais especificamente, esta rotação é feita da seguinte maneira:

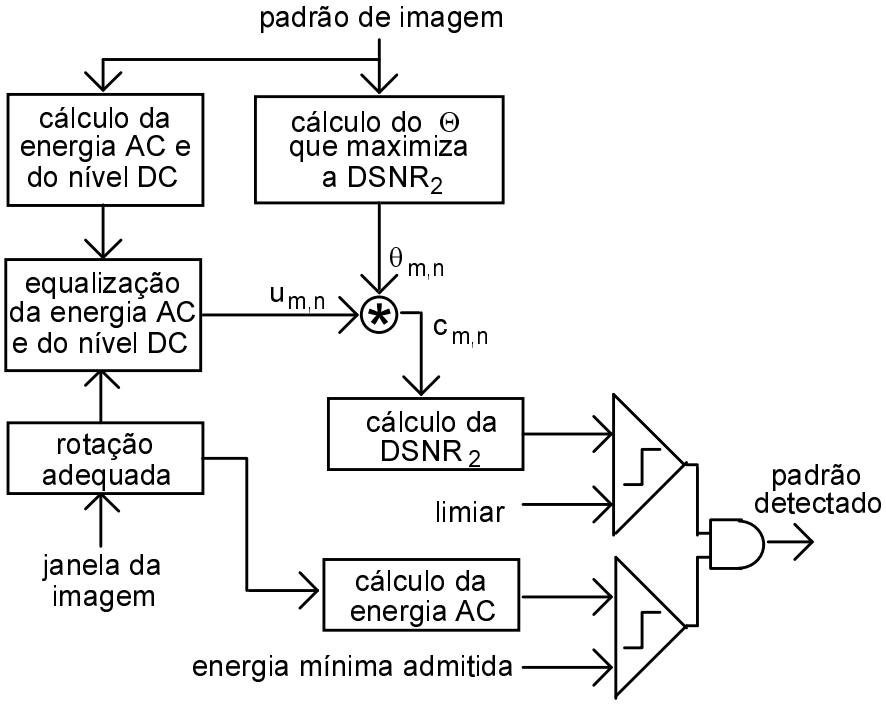
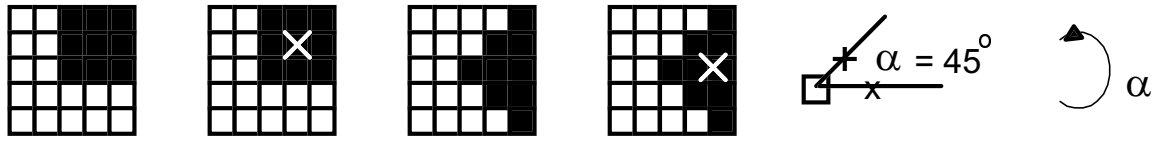


Figura 3.8. Diagrama em blocos simplificado
para um detetor de padrões de imagem.

- escolhe-se o gabarito (fig.3.9.1);
- calcula-se o centróide do gabarito escolhido (fig.3.9.2);
- toma-se a janela da imagem a ser casada (fig.3.9.3);
- calcula-se o centróide da janela da imagem (fig.3.9.4);
- calcula-se o ângulo α, tomando-se os dois centros e usando o pixel central como origem (fig.3.9.5);
- realiza-se a rotação da janela de α, de forma a tentar sobrepor a janela por cima do gabarito (fig.3.9.6).



(3.9.1) (3.9.2) (3.9.3) (3.9.4) (3.9.5) (3.9.6)

Figura 3.9. Seqüência para a rotação adequada.

Notar que, para o cálculo do novo pixel de coordenadas *(i , j)* depois da rotação (fig. 3.9.6), basta copiar o pixel de coordenadas *(i cos* α *+ j sen* α *, j cos* α *- i sen* α *)*.

Um problema possível deste método aparece quando se toma uma janela igual ao complemento do gabarito (fig. 3.10). Se for aplicado o algoritmo da fig. 3.9, a janela deveria casar-se com o gabarito, pois o cálculo de $DSNR_2$ é invariante à multiplicação por uma constante ("janela" = -1 x "gabarito"). Contudo, na presente implementação, seria feita uma rotação imprópria de 180^0, o que ocasionaria um não casamento. Resolveu-se este problema ao adicionar 180^0 a α se, após a eliminação do nível DC da janela, o número de pixels com valores negativos for menor que o número de pixels com valores positivos.

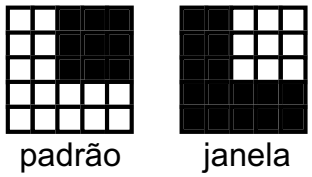


Figura 3.10. Janela igual ao complemento do gabarito.

3.8. Escolha do Limiar

A escolha do limiar de detecção depende da aplicação. Uma das possibilidades é utilizar o critério de Neyman-Pearson [26], ou seja, supõe-se uma distribuição de ruído, fixa-se uma probabilidade de falso-alarme e calcula-se o limiar correspondente.

Como exemplo, supõe-se que o sinal de entrada seja um ruído branco e gaussiano η de média μ e variância σ^2.

Para usar o critério de Neyman-Pearson, é necessário analisar o sinal de saída do filtro discriminativo quando a entrada é composta apenas por ruído. Graças ao teorema de Parseval [27], as energias do sinal no tempo e na freqüência são iguais. Sendo branco, o ruído possui então um espectro igualmente distribuído em freqüência. Assim, a energia do sinal de saída (ruído filtrado) terá aproximadamente a mesma energia de θ (a menos de uma constante multiplicativa e da energia de η). É claro que a energia de θ é constante e depende do padrão que se deseja detectar. Já a energia de η é variável, mas pode ser estimada pelo número de pontos de η multiplicado por um valor médio de energia por pixel, que é igual a $\sigma^2 + \mu^2$.

Resta calcular a densidade de probabilidade do termo $c_{i,j}^{\,2}$ quando apenas entrar ruído no sistema. É fácil ver que a variável aleatória $c_{i,j}$ é uma gaussiana de média μ_n e variância σ_n^2, dados pelas equações 3.27 e 3.28, onde $\mu_{i-m',j'-n'} = \mu$, se os índices $i-m'$ e $j-n'$ estiverem no suporte da janela de entrada, ou 0, caso contrário. O mesmo raciocínio é aplicado para $\sigma^2_{i-m',j'-n'}$. Então, a variável aleatória

$$\frac{\left\{ c_{i,j} - \mu_n \right\}^2}{\sigma_n^{\,2}}$$

será uma χ^2 (qui-quadrada) com um grau de liberdade.

$$\mu_n = \sum_{m'} \sum_{n'} \mu_{i-m',j-n'}\ \theta_{m',n'} \quad , \qquad (3.27)$$

$$\sigma_n^{\,2} = \sum_{m'} \sum_{n'} \sigma^2_{i-m',j-n'}\ \theta_{m',n'} \quad , \qquad (3.28)$$

A partir deste ponto, basta extrair da curva χ^2 o valor T tal que $P(\chi^2 > T)$ = P(falso-alarme). Em seguida, acham-se o $c_{i,j}$ correspondente (eq. 3.29) e o limiar resultante para a $DSNR_2$ (eq. 3.30).

$$(c_{i,j})_n = \mu_n + \sigma_n T^{1/2} \quad , \tag{3.29}$$

$$\text{Limiar} = \frac{(c_{i,j}^2)_n}{(\sum_m \sum_n \sigma_n^2 + \mu_n^2) - (c_{i,j}^2)_n} \quad . \tag{3.30}$$

Sem dúvida, esta formulação é muito importante para se estabelecer o limiar de decisão, principalmente quando as texturas são bem caracterizadas. Contudo, em aplicações onde as texturas são desconhecidas, é prático arbitrar o limiar de detecção experimentalmente.

3.9. Resultados Parciais das Simulações

Para verificar o desempenho do sistema de detecção proposto, foram usados os gabaritos das figura 3.3 e 3.4, além dos filtros obtidos usando as três funções-objetivos apresentadas na seção 3.3 (método A), na seção 3.5 (método B) e na seção 3.6 (método C). A tabela 3.2 lista os parâmetros de processamento.

Observando a figura 3.11, pode-se ver que o algoritmo detecta corretamente as quinas num ambiente com duas texturas apenas, como na chaminé da casa e nas fronteiras do céu. Para a quina de 90^0, os métodos B e C forneceram os mesmos resultados, cancelando uma falsa detecção (na chaminé à esquerda da casa) do método A. Quanto às quinas de 45^0 e de 135^0, nota-se que o método A detectou um número elevado de quinas falsas, principalmente na descida do telhado e no toldo frontal. Para a quina de 45^0, ambos os métodos B e C trabalharam melhor do que o método A, já que cancelaram muitas das quinas falsas da descida do telhado. Por outro lado, o método B multiplicou o número de quinas falsas de 135^0 (devido ao fato de $g(\Theta)$ ter convergido para uma situação onde $DSNR_2$ é baixa) enquanto que o método C trabalhou bem (já que aqui se exigiu, além de $g(\Theta)$ baixo, um valor alto de $DSNR_2$).

Pode-se comparar os resultados parciais com os obtidos pelo método proposto por Nandy e Ben-Arie [7], mostrados na figura 3.11-(l). Tanto em [7] quanto neste capítulo, observa-se que boa parte das quinas foram corretamente detectadas, mas houve também a

detecção de quinas falsas. Em [7], as janelas da imagem passaram por transformadas KL com o objetivo de obterem-se os autovalores principais do sinal bidimensional, transformando-o assim numa seqüência unidimensional, o que permitiu a aplicação do método EXM original (já que esta transformação reduziu a dimensão da imagem de $2 \rightarrow 1$). No trabalho de Nandy [7], foram utilizados muitos padrões de treinamento. As quinas foram detectadas como sendo cruzamentos de padrões de segmentos de retas. Os resultados de todos os métodos deste capítulo estão resumidos na tabela 3.3.

Como pode ser observado, os métodos baseados em gradientes não apresentaram uma confiabilidade tão significativa, o que motivou o desenvolvimento de outros trabalhos no presente texto.

Tabela 3.2. Tabela de parâmetros de processamento.

Gabarito	$DSNR_2$ (método A)	$DSNR_2$ (método B)		Limiar	Excursão Mínima (níveis de cinza)
quina de 90^0	0,2850	0,1851		0,16	11,7
quina de 45^0	0,4163	0,3721		0,09	11,7
quina de 135^0	0,4493	0,0953		0,09	11,7
Gabarito	$DSNR_2$ (método C)	K	Z	Limiar	Excursão Mínima (níveis de cinza)
quina de 90^0	0,2470	0,95	1,0	0,16	11,7
quina de 45^0	0,3611	0,95	1,0	0,09	11,7
quina de 135^0	0,5196	0,85	1,0	0,09	11,7
quina de 135^0	0,4219	0,95	1,0	0,09	11,7

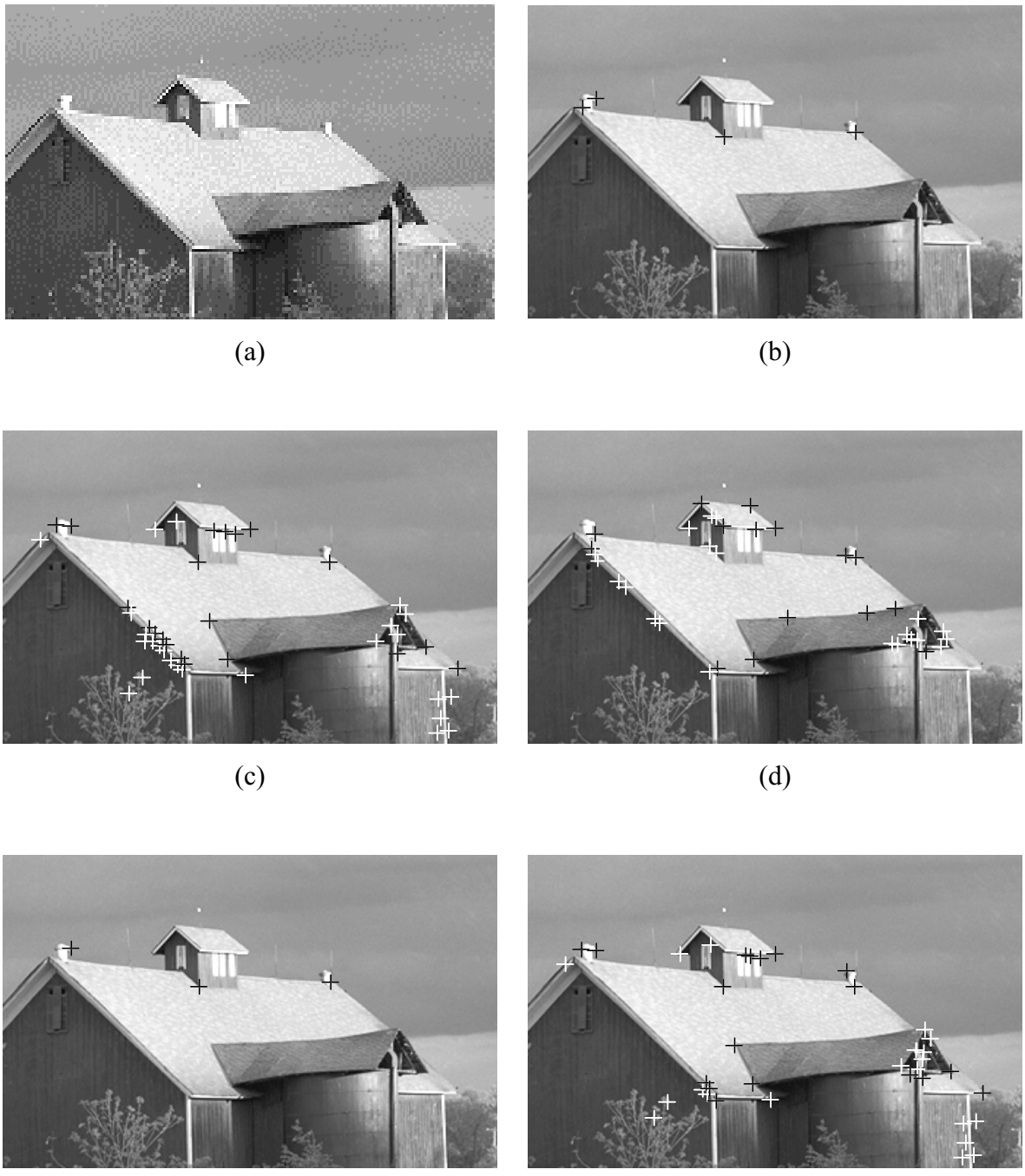


Figura 3.11. (a) Imagem original. (b)(c)(d) Quinas de 90^0, 45^0 e 135^0 detectadas (método A). (e)(f)(g) Quinas detectadas (método B). (h)(i)(j)(k) Quinas detectadas pelo método C. (vide tabela 3.2) (l) Resultados de [7] (continua...).

(g)

(h)

(i)

(j)

(k)

(l)

Figura 3.11. (continuação...) (a) Imagem original. (b)(c)(d) Quinas de 90^0, 45^0 e 135^0 detectadas (método A). (e)(f)(g) Quinas detectadas (método B). (h)(i)(j)(k) Quinas detectadas pelo método C. (vide tabela 3.2) (l) Resultados de [7].

3.10. Detecção após Segmentação

Uma alternativa para aplicar o algoritmo de detecção proposto neste capítulo é realizar uma prévia segmentação da imagem de entrada. Desta forma, utilizou-se a técnica sugerida no capítulo 2. Nela, uma imagem de tons de cinza ou colorida, com dimensões linhas x colunas x cores (*imagem[i][j][k]*), é segmentada, resultando numa outra imagem (*cluster[i][j]*) composta por identificadores de regiões. Em seguida, para cada região, cria-se uma imagem binária auxiliar (*região[n][i][j]*), onde *região[n][i][j]* = 1 se *cluster[i][j]* = *n* (*n* é o índice que especifica a região) ou *região[n][i][j]* = 0, caso contrário. Cada uma destas imagens é filtrada pelo filtro Θ calculado previamente. Durante este passo, cria-se uma matriz auxiliar *dsnr[i][j]* que acumula o maior valor da $DSNR_2$ em relação a *n* Após todos esses passos, verifica-se que índices *i* e *j* satisfazem à condição *dsnr[i][j]* ser maior que um limiar. Cada vez que esta condição for satisfeita, ter-se-á detectado o padrão na linha *i* e coluna *j*. Vide figura 3.12. A figura 3.21 irá mostrar resultados com simulações usando este esquema.

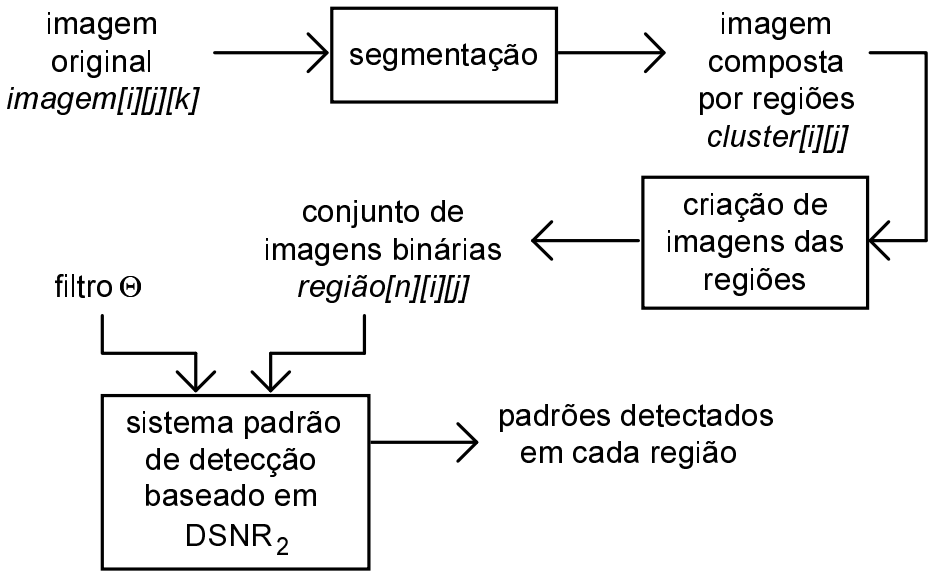


Figura 3.12. Sistema de detecção após segmentação.

3.11. Uso de Máscaras Especiais

Quando se desejar trabalhar com gabaritos não retangulares, uma opção é tomar-se um padrão retangular que majore o gabarito desejado, como exemplificado nas figuras 3.13(a), (b) e (c), onde os pixels de interesse estão assinalados em preto e em cinza. Nota-se que todos os pixels extras acrescentados ao gabarito (em branco) entram com pesos nulos no treinamento. Em contrapartida, a quina (padrão desejado) é caracterizada por pesos com polaridades invertidas: na parte interna (em preto), possuem polaridade positiva, enquanto que, na parte externa (em cinza), possuem polaridade negativa. Por conveniência, a soma dos pesos atribuídos aos pixels do gabarito é nula.

Sendo assim, para utilizar os filtros Θ obtidos com os gabaritos da figura 3.13, basta, após a rotação apropriada, multiplicar a janela de entrada por uma máscara especial que pondere no processamento apenas os pixels do padrão desejado, eliminando os pixels extras da janela da imagem. Após isto, é necessário ainda retirar o nível DC dos pixels restantes. As máscaras especiais associadas aos gabaritos da figura 3.13 estão mostradas na figura 3.14.

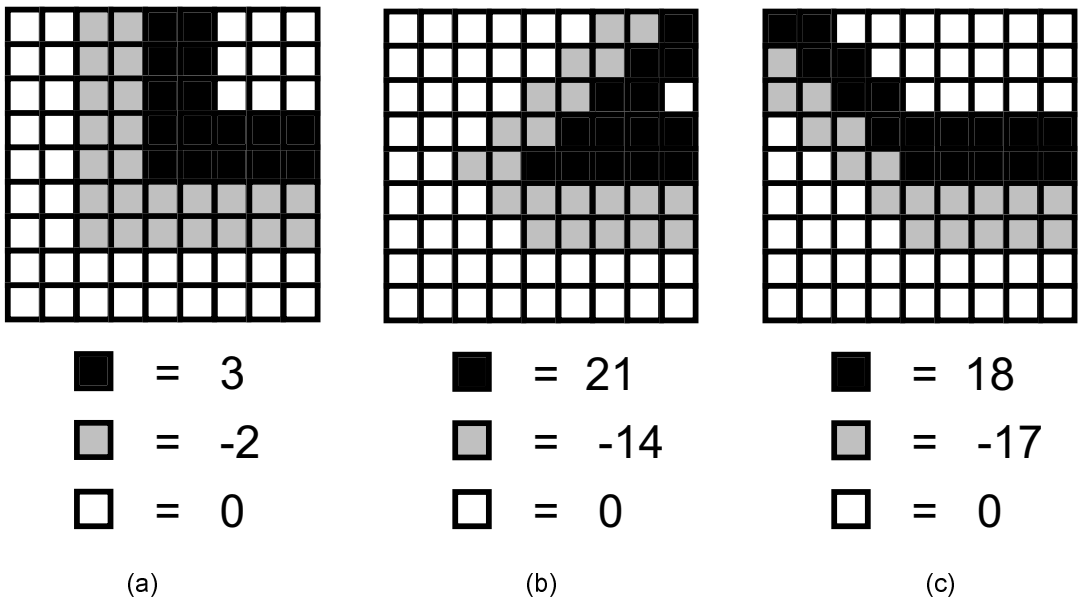


Figura 3.13. Gabaritos majorados obtidos de quinas não-retangulares.

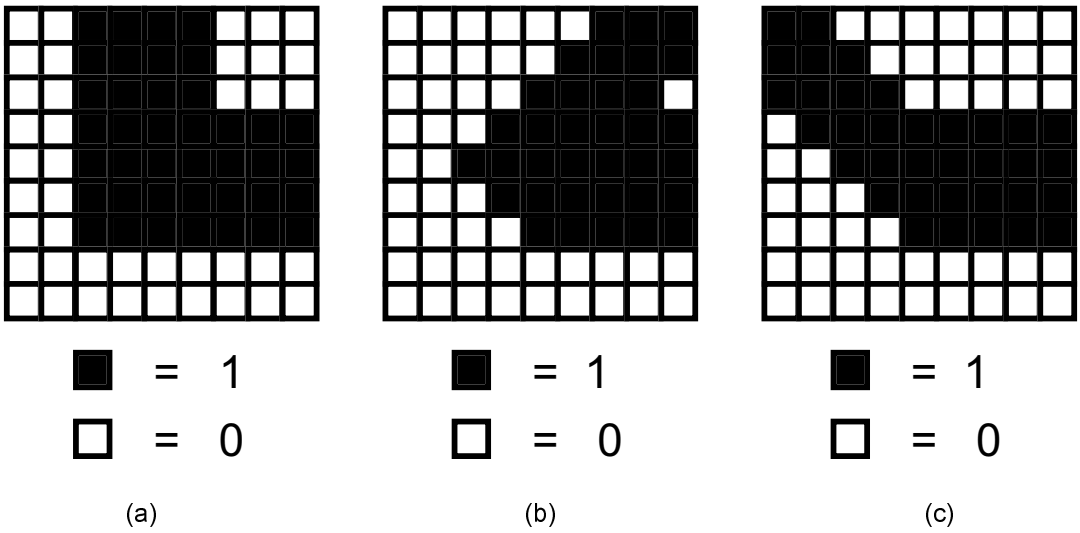


Figura 3.14. Máscaras especiais associadas aos gabaritos da figura anterior.

Algumas simulações foram feitas para ilustrar o uso de máscaras especiais. Foram tomados os padrões da figura 3.13. Desta vez, foi utilizado o método *simulated annealing* [25] para a procura de mínimos globais. Vale ressaltar que não foi conseguida uma convergência resultando em valores altos de $DSNR_2$ com o *simulated annealing* para todo o conjunto de padrões mostrado na figura 3.4.

Coincidentemente, todos os três filtros $\boldsymbol{\Theta}$ (um para cada gabarito) pesquisados correspondem aos filtros que otimizam todos os três métodos apresentados nas seções 3.3, 3.5 e 3.6 (basta observar que, fazendo $c_{i,j} = 1$ e $c_{m,n} = 0$ na eq. 3.25, obtém-se $g(\boldsymbol{\Theta}) = 0$). Como mostram as figuras 3.15, 3.16 e 3.17, os treinamentos usando a convergência pelo método *simulated annealing* ofereceram filtros que permitem praticamente toda a energia do sinal de saída do filtro **C** concentrada na amostra central $c_{i,j}$. Nas figuras seguintes, os filtros obtidos foram passados na imagem da casa de campo, oferecendo detecções com muito menos quinas falsas do que as simulações com o método baseado em gradientes (vide figura 3.11). A figura 3.18 mostra como o sistema proposto no capítulo detectou quinas de uma forma geométrica sintetizada, mesmo quando se adicionou ruído. A figura 3.19 ilustra simulações com a imagem da casa de campo.

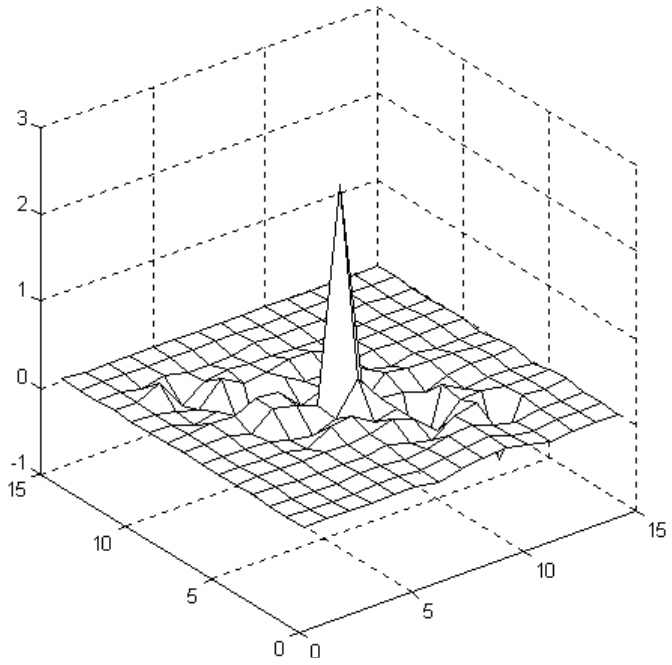


Figura 3.15. C obtidos após a convolução entre **U** (9x9) e **Θ** (7x7), para o caso da figura 3.13(a). O valor obtido para $DSNR_2$ foi 2,5313.

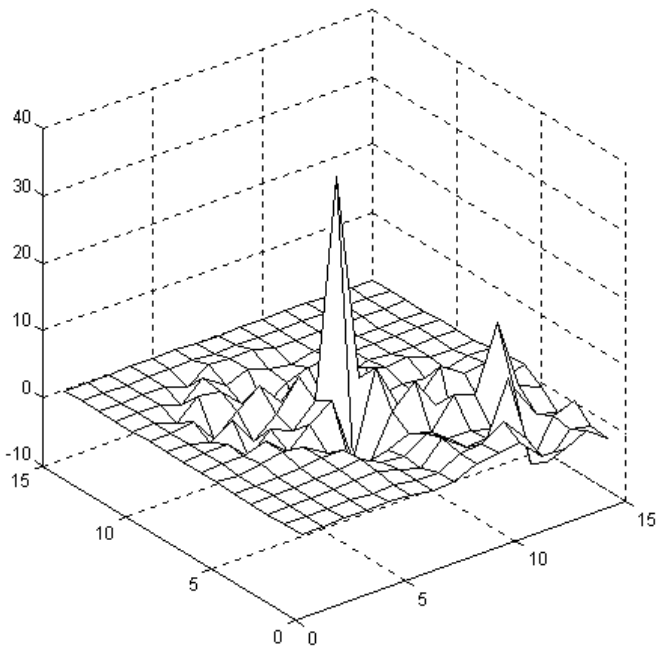


Figura 3.16. C obtidos após a convolução entre **U** (9x9) e **Θ** (7x7), para o caso da figura 3.13(b). O valor obtido para $DSNR_2$ foi 1,4549.

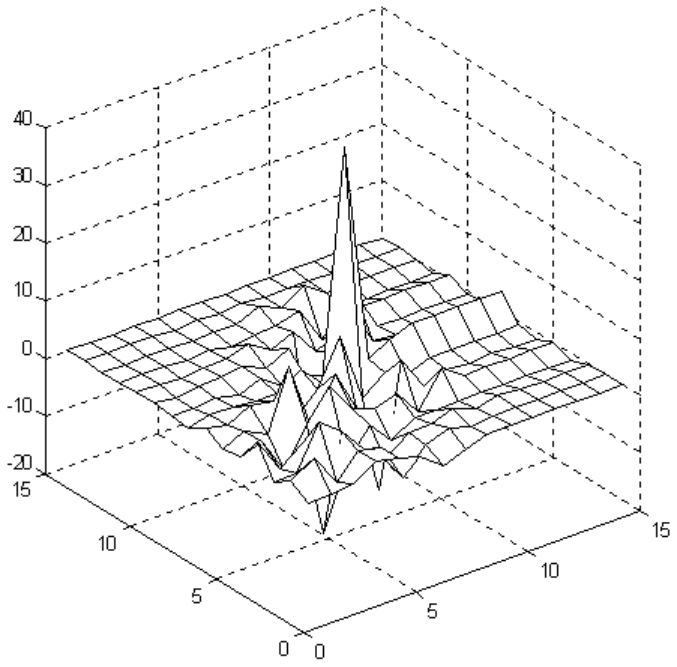


Figura 3.17. C obtidos após a convolução entre **U** (9x9) e **Θ** (7x7), para o caso da figura 3.13(c). O valor obtido para $DSNR_2$ foi 0,8422.

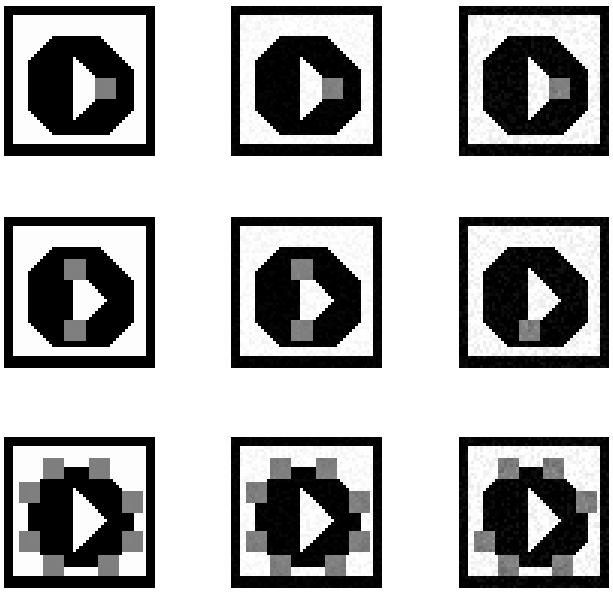


Figura 3.18. Quinas detectadas numa imagem sintetizada com 256 níveis de cinza. As janelas 9x9 em cinza indicam as localizações das quinas detectadas. Na primeira linha, estão ressaltadas as quinas de 90^0, enquanto que, na segunda, as quinas de 45^0 e, na terceira, as quinas de 135^0. Na primeira coluna, não foi acrescentado ruído, enquanto que, na segunda e na terceira colunas, foram adicionados ruídos uniformemente distribuídos de médias nulas e variâncias 400 e 1.600, respectivamente. Em todos os casos, o limiar de detecção foi arbitrado igual a 0,4. Em apenas 3 casos a quina não foi detectada.

(a)

(b)

(c)

Figura 3.19. Quinas detectadas de 90^0 (a), de 45^0 (b) e de 135^0 (c). Os limiares de detecção foram arbitrados iguais a 0,20, 0,32 e 0,20, respectivamente.

Outro grupo de simulações aproveitou o algoritmo de segmentação apresentado no Capítulo 2 e a idéia do sistema descrito na seção 3.10. A figura 3.20 mostra a tomografia resultante da segmentação, que foi usada na filtragem dos gabaritos, enquanto que a figura 3.21 ressalta as quinas detectadas na casa de campo usando este último método.

Como já foi colocado no Capítulo 2, a segmentação é um passo importante para um algoritmo de visão computacional. O simples uso da segmentação foi fundamental para a caracterização de algumas regiões da imagem da casa de campo que, como observado na figura 3.21, permitiu a detecção de todas as quinas de todas as partes da casa, à exceção da quina mais à direita e abaixo do telhado principal. É claro que algumas quinas falsas também foram detectadas, mas isto se deveu ao fato de algumas sombras da casa terem sido separadas em regiões independentes, como na parede frontal da casa. Assim, esta simulação mostrou que é viável o uso da filtragem discriminativa conjugada com uma prévia segmentação, que pode ser uma ferramenta auxiliar como pré-processamento.

A tabela 3.3 resume as simulações com a imagem da casa de campo usando todos os métodos apresentados neste capítulo. De uma forma geral, sob o critério de quinas percebidas visualmente, a aplicação da filtragem discriminativa precedida por uma segmentação apresentou os melhores resultados, pois foi capaz de detectar a maior parte das quinas com um número bem menor de falsos-alarmes.

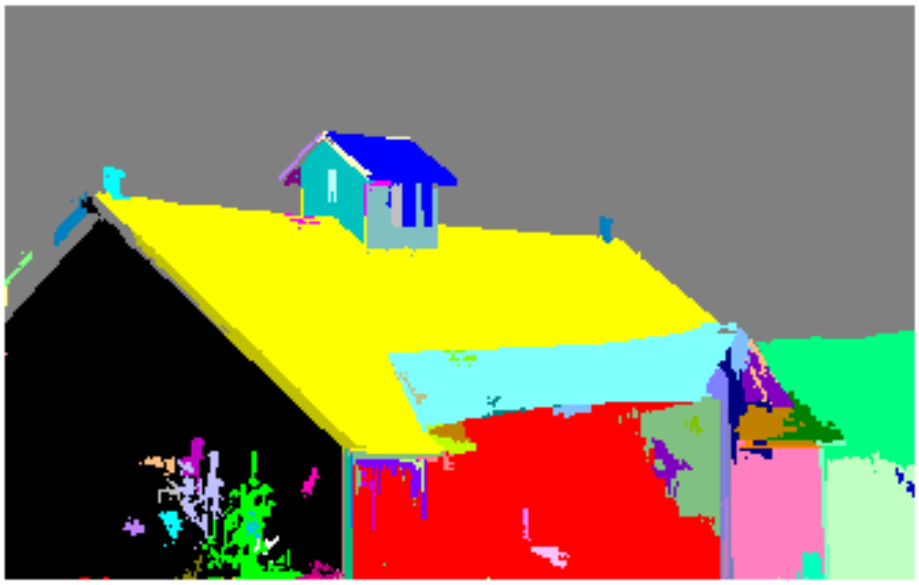


Figura 3.20. Tomografia resultante da segmentação da casa de campo.

(a)

(b)

(c)

Figura 3.21. Quinas detectadas de 90^0 (a), de 45^0 (b) e de 135^0 (c). O método usado foi o apresentado na seção 3.10. Os limiares de detecção foram arbitrados todos iguais a 0,4.

Tabela 3.3. Resumo de todas as simulações deste capítulo. Nesta tabela, estão listadas as quinas obtidas através de uma inspeção visual e as quinas detectadas usando cada um dos métodos testados, incluindo falsas detecções e quinas julgadas sem importância ou irrelevantes, como aquelas detectadas sobre as árvores. O símbolo ∞ significa um número muito grande (vide fig. 3.11-g).

		Nº de quinas detectadas usando cada método					
	nº esperado	A	B	C	[7]	Máscara	Segmentação
quinas de 90^0 na parede frontal	2	-	-	-	1	1	2
quinas de 135^0 na parede lateral	1	1	∞	1	-	-	1
quinas de 45^0 no telhado	2	2	2	2	-	1	1
quinas de 135^0 no telhado	1	1	∞	1	1	-	1
quinas nas duas chaminés	8	5	4	5	4	3	3
quinas de 45^0 no toldo	2	2	2	2	2	1	2
quinas de 135^0 no toldo	2	2	∞	2	2	-	2
quinas abaixo do toldo	6	6	∞	6	-	5	6
quinas de 45^0 na casinha	4	3	3	3	4	2	4
quinas de 90^0 na casinha	5	1	1	1	5	3	5
quinas de 135^0 na casinha	4	4	∞	3	3	2	3
quinas irrelevantes (exemplo: na árvore)	-	9	∞	3	2	2	11
quinas falsas de 90^0	-	-	-	-	8	1	1
quinas falsas de 45^0	-	22	14	13		1	4
quinas falsas de 135^0	-	13	∞	10		3	2

3.12. Conclusões

Neste capítulo, primeiramente realizou-se a extensão bidimensional da relação sinal-ruído discriminativa, definida em [6]. Foram propostas então três funções-objetivos para o projeto de filtros discriminativos. A primeira delas (método A) é baseada na maximização de $DSNR_2$. A segunda (método B) busca o filtro que ofereça um máximo de $DSNR_2$ para um gabarito específico. O método C usa, no cálculo da função-objetivo, uma combinação dos métodos A e B. Uma aplicação em potencial para o filtro proposto é a detecção de padrões de imagem. Foram feitas simulações com os filtros calculados em imagens reais e os melhores resultados discriminativos foram obtidos com o método C.

Em seguida, foram propostos alguns métodos para se melhorar o sistema de detecção, como o uso de máscaras especiais e o aproveitamento do algoritmo de segmentação proposto no capítulo anterior.

As simulações mostraram que a filtragem discriminativa em duas dimensões proposta é viável para uso em um sistema de detecção de padrões, já que ofereceram resultados próximos aos que foram apresentados na literatura. Vale ressaltar que, pelo método proposto, dispensa-se o uso de procedimentos que reduzam a dimensão do sinal, como feito em [7].

4. Discriminação via Restauração do Impulso

A teoria proposta no capítulo anterior pode ser considerada um caso particular do problema de detecção de padrões usando-se a técnica de restauração do impulso. Nesta técnica, processa-se uma imagem como se ela fosse composta por um padrão, numa posição desconhecida, acrescido de um ruído aditivo. O objetivo, ao final do processamento, é obter uma imagem composta apenas por um impulso na posição onde o padrão for detectado. Neste capítulo, é feito um modelamento do problema da filtragem discriminativa como sendo um problema de restauração do impulso.

4.1. O Problema Clássico de Restauração do Impulso

A detecção de padrões usando filtragem discriminativa consiste em realizar uma convolução entre a imagem e um operador calculado para um padrão específico. A saída esperada para o filtro possui uma alta energia em uma das amostras e baixa energia nas demais.

É possível dar uma interpretação alternativa para a filtragem discriminativa como se segue: a imagem de entrada $g(m,n)$ pode ser expressa como

$$g(m,n) = f(m-m_0,n-n_0) + b(m,n) , \tag{4.1}$$

onde $f(m-m_0,n-n_0)$ é o padrão centrado na posição (m_0,n_0) e $b(m,n)$ é o resto da imagem. A equação 4.1 pode ainda ser interpretada como um impulso na posição (m_0,n_0) sendo distorcido pelo operador linear $f(m,n)$ e corrompido com o ruído aditivo $b(m,n)$. O filtro discriminativo ideal obteria em sua saída uma energia alta em (m_0,n_0) e zero nas outras posições. Isto nada mais é do que um impulso; portanto, o filtro discriminativo ideal é aquele que restaura um impulso distorcido por um padrão e corrompido pelo resto da imagem. Neste capítulo, a filtragem discriminativa é formulada como um problema de restauração do impulso e, usando esta formulação, são achadas soluções analíticas para ele. É importante notar que, na abordagem do capítulo anterior, as soluções puderam ser obtidas apenas através de otimizações numéricas.

Com o objetivo de formular o problema de restauração do impulso numa notação matricial [9-10], uma imagem $g(m,n)$ é transformada num vetor coluna $\mathcal{G}(k)$ através da concatenação de suas linhas transpostas. O padrão numa posição desconhecida (m_0,n_0) torna-se $\mathcal{F}(k-k_0)$, o impulso $\delta(m,n)$ torna-se $\boldsymbol{\delta}(k)$ e o ruído $b(m,n)$, correspondendo ao resto da imagem, torna-se $\mathcal{B}(k)$. Portanto, a equação 4.1 é reescrita como

$$\mathcal{G}(k) = \mathcal{F}(k-k_0) + \mathcal{B}(k) = \mathcal{F}(k) * \boldsymbol{\delta}(k-k_0) + \mathcal{B}(k). \tag{4.2}$$

Considerando a convolução acima sendo circular e a imagem na equação 4.1 com dimensões $(2T + 1)$ x $(2T + 1)$, onde $-T \leq m,n \leq T$, pode-se expressar as equações 4.1 e 4.2 numa notação matricial como

$$\boldsymbol{g} = \mathbf{F}\,\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b}, \tag{4.3}$$

onde

$$\boldsymbol{g} = \begin{bmatrix} g(-T,-T) \\ g(-T,-T+1) \\ \dots \\ g(+T,+T) \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\delta} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\delta}(-T,-T) \\ \boldsymbol{\delta}(-T,-T+1) \\ \dots \\ \boldsymbol{\delta}(+T,+T) \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{b} = \begin{bmatrix} b(-T,-T) \\ b(-T,-T+1) \\ \dots \\ b(+T,+T) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathcal{F}(0) & \mathcal{F}((2T+1)^2-1) & \dots & \mathcal{F}(1) \\ \mathcal{F}(1) & \mathcal{F}(0) & \dots & \mathcal{F}(2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathcal{F}((2T+1)^2-1) & \mathcal{F}((2T+1)^2-2) & \dots & \mathcal{F}(0) \end{bmatrix}. \tag{4.4}$$

onde $\boldsymbol{g}$, $\boldsymbol{\delta}$ e $\boldsymbol{b}$ são vetores $(2T+1)^2$x1 e $\mathbf{F}$ é uma matriz $(2T+1)^2$ x $(2T+1)^2$.

O problema de restauração do impulso consiste então em, dado o vetor $\boldsymbol{g}$ e a matriz $\mathbf{F}$, estimar o vetor $\boldsymbol{\delta}$, já que não se conhece a priori o vetor $\boldsymbol{b}$ representativo do ruído.

Neste ponto, começa-se uma análise do vetor $\boldsymbol{\delta}$, o qual se deseja estimar. Definindo $N = 2\,T + 1$, é suposto que $\boldsymbol{\delta}$ seja um vetor aleatório que tenha uma amostra igual a 1 (na localidade onde o padrão esteja presente) e todas as outras amostras iguais a zero.

Considerando-se a princípio que o impulso possa ser restaurado com igual probabilidade em cada uma das amostras, tem-se que a matriz autocorrelação E $\{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t \}$ do impulso vale

$$E \{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t \} = 1/N \, \mathbf{I}, \tag{4.5}$$

pois E $\{ \boldsymbol{\delta}_i \, \boldsymbol{\delta}_j \}$ é igual a 1/N, se $i = j$, ou igual a 0, caso contrário. Notar que **I** é a matriz identidade NxN.

Supõe-se que o vetor aleatório de ruído $\boldsymbol{b}$, correspondendo ao resto da imagem, tenha média nula e matriz covariância $\mathbf{C_b}/N$. Portanto, a melhor estimativa para $\boldsymbol{\delta}$ (isto é $\hat{\boldsymbol{\delta}}$), que minimize o erro médio quadrático E[$|| \boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}} ||^2$] e que seja linear em relação à observação $\boldsymbol{g}$ (ou seja, $\hat{\boldsymbol{\delta}} = \mathbf{A}\,\boldsymbol{g}$), pelo princípio da ortogonalidade, é aquela que faz o erro $\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}$ ser descorrelacionado da observação $\boldsymbol{g}$. Desta forma:

$$E \{ (\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}) \, \boldsymbol{g}^t \} = \mathbf{0} \quad , \tag{4.6}$$

ou

$$\begin{aligned}
& E \{ (\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}) \, \boldsymbol{g}^t \} = E \{ (\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{g}) \, \boldsymbol{g}^t \} \\
= \; & E \{ (\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\mathbf{F}\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{b}) \, (\mathbf{F}\,\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b})^t \} \\
= \; & E \{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t \mathbf{F}^t \} + E \{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t \} - E \{ \mathbf{A}\,\mathbf{F}\,\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t \mathbf{F}^t \} \\
& - E \{ \mathbf{A}\,\mathbf{F}\,\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t \} - E \{ \mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\,\boldsymbol{\delta}^t \mathbf{F}^t \} - E \{ \mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\,\boldsymbol{b}^t \} \\
= \; & E \{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t \} \; \mathbf{F}^t + E \{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t \} - \mathbf{A}\,\mathbf{F}\,E \{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t \} \, \mathbf{F}^t \\
& - \mathbf{A}\,\mathbf{F}\,E \{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t \} - \mathbf{A}\,E \{ \boldsymbol{b}\,\boldsymbol{\delta}^t \} \, \mathbf{F}^t - \mathbf{A}\,E \{ \boldsymbol{b}\,\boldsymbol{b}^t \} \;=\; \mathbf{0} \quad .
\end{aligned} \tag{4.7}$$

Fazendo a hipótese de $\boldsymbol{\delta}$ e $\boldsymbol{b}$ serem descorrelacionados, pode-se aplicar as relações

$$E \{ \boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t \} = \mathbf{0}, \tag{4.8}$$

$$E \{ \boldsymbol{b}\,\boldsymbol{b}^t \} = \mathbf{C_b}/N. \tag{4.9}$$

Notar que, para que a equação 4.9 seja válida, é necessário que o vetor $\boldsymbol{b}$ tenha média nula. Para tal, é suficiente que a média da imagem seja retirada antes do processamento. Assim, a equação 4.7 pode ser simplificada como:

$$\mathbf{F}^t - \mathbf{A}\,\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t - \mathbf{A}\,\mathbf{C_b} = \mathbf{0} \quad . \tag{4.10}$$

Conseqüentemente,

$$\mathbf{A} = \mathbf{F}^t \left(\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \mathbf{C_b} \right)^{-1}, \tag{4.11}$$

ou

$$\hat{\boldsymbol{\delta}} = \mathbf{F}^t \left(\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \mathbf{C_b} \right)^{-1} \boldsymbol{g} \, . \tag{4.12}$$

O estimador linear da equação 4.12 não está no formato convencional apresentado nas referências [9] e [10], mas pode ser adaptado com a seguinte manipulação algébrica:

$$\begin{aligned}
\hat{\boldsymbol{\delta}} &= \mathbf{F}^t \left(\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \mathbf{C_b} \right)^{-1} \boldsymbol{g} \\
&= \mathbf{F}^t \left(\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \mathbf{C_b} \right)^{-1} \mathbf{C_b} \left(\mathbf{F}^t\right)^{-1} \mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1} \boldsymbol{g} \\
&= \mathbf{F}^t \left(\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \mathbf{C_b} \right)^{-1} \left(\mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1}\right)^{-1} \mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1} \boldsymbol{g} \\
&= \left(\left\{ \mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \mathbf{C_b} \right\} \left(\mathbf{F}^t\right)^{-1} \right)^{-1} \left(\mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1}\right)^{-1} \mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1} \boldsymbol{g} \\
&= \left(\mathbf{F} + \mathbf{C_b} \left(\mathbf{F}^t\right)^{-1} \right)^{-1} \left(\mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1}\right)^{-1} \mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1} \boldsymbol{g} \\
&= \left(\mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1} \left\{ \mathbf{F} + \mathbf{C_b} \left(\mathbf{F}^t\right)^{-1} \right\} \right)^{-1} \mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1} \boldsymbol{g} \\
&= \left(\mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1} \mathbf{F} + \mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{F}^t \mathbf{C_b}^{-1} \boldsymbol{g} \, ,
\end{aligned} \tag{4.13}$$

que é a forma mais comum na literatura.

4.2. A Filtragem Discriminativa como um Problema de Restauração do Impulso

A filtragem discriminativa, apresentada no capítulo anterior, é um problema que se parece com o de restauração do impulso. Pergunta-se então: há como modelar uma filtragem discriminativa de maneira semelhante à realizada na seção anterior ?

Para este modelo procurado, inicia-se exprimindo a imagem como a convolução bidimensional, acrescida de ruído, entre o gabarito *u(m,n)* em questão e o impulso numa posição desconhecida:

$$g(m,n) = u(m,n) * \delta(m-m_0,n-n_0) + b(m,n). \tag{4.14}$$

ou

$$\boldsymbol{G} = \boldsymbol{U} * \boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{B}. \tag{4.15}$$

Neste ponto, o interesse está em colocar as equações 4.14 e 4.15 num formato matricial semelhante ao da equação 4.3. Para isto, começa-se reescrevendo a equação 3.19 (agora sendo a 4.16).

$$g_{m,n} = \left\{ \sum_{m'} \sum_{n'} u_{m-m',n-n'} \, \delta_{m',n'} \right\} + b_{m,n} \qquad (4.16)$$

$$-T \le m',n' \le T,$$
$$-k \le m,n \le k,$$
$$-q \le m-m',n-n' \le q,$$

onde

$$2\,k + 1 = M_1 + M_2 - 1 \ , \qquad (4.17)$$

$$2\,T + 1 = M_2 \quad \text{e} \quad 2\,q + 1 = M_1. \qquad (4.18)$$

A seguir, estão definidos alguns vetores necessários para a formulação bidimensional, que são construídos a partir da representação de imagens (sem perda de generalização, podem ser quadradas) como uma concatenação de linhas transpostas.

$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_{-k,-k} \\ g_{-k,-k+1} \\ \cdots \\ g_{-k,+k} \\ \cdots \\ g_{+k,+k} \end{bmatrix} \qquad (4.19)$$

dimensão: $(2k+1)^2 \times 1$

$$\boldsymbol{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_{-T,-T} \\ \delta_{-T,-T+1} \\ \cdots \\ \delta_{-T,+T} \\ \cdots \\ \delta_{+T,+T} \end{bmatrix} \qquad (4.20)$$

dimensão: $(2T+1)^2 \times 1$

Das equações 4.16, 4.19 e 4.20, por inspeção, chega-se finalmente à matriz **F**, em função das amostras $u_{m,n}$ do gabarito, que lembra o formato presente na equação 4.4:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} u_{-k+T,-k+T} & u_{-k+T,-k+T-1} & \cdots & u_{-k+T,-k-T} & u_{-k+T-1,-k+T} & \cdots & u_{-k-T,-k-T} \\ u_{-k+T,-k+1+T} & u_{-k+T,-k+T} & \cdots & u_{-k+T,-k+1-T} & u_{-k+T-1,-k+1+T} & \cdots & u_{-k-T,-k+1-T} \\ & & \cdots & & \cdots & & \\ u_{+k+T,+k+T} & u_{+k+T,+k+T-1} & \cdots & u_{+k+T,+k-t} & u_{+k+T-1,+k+T} & \cdots & u_{+k-T,+k-T} \end{bmatrix} \quad . \quad (4.21)$$

dimensão: $(2k+1)(2T+1) \times (2k+1)(2T+1)$

Fazendo uma breve análise dimensional na equação 4.3, nota-se que não há, sem realizar qualquer truncamento ou aproximação, como manter a compatibilidade de dimensões entre os vetores e matrizes, pois **g** tem dimensão $(2k+1)^2 \times 1$, $\boldsymbol{\delta}$ tem dimensão $(2T+1)^2 \times 1$ e **F** tem dimensão $(2k+1)(2T+1) \times (2k+1)(2T+1)$.

Sendo assim, a solução para a matriz **A** (ou seja, $\hat{\boldsymbol{\delta}} = \mathbf{A}\,\boldsymbol{g}$), usando convolutores lineares, não existe. Para buscar uma solução aproximada, que pode ter um erro não desprezível, é adaptar as dimensões de **F** e **A**, realizando truncamentos. A seguir, estão a nova constituição de **F** e a constituição de **A** para que ela represente um filtro discriminativo quando aplicado à **g** (que deve ser truncado para a dimensão $(2T+1)^2 x1$).

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} u_{0,0} & u_{0,-1} & \cdots & u_{0,-2T} & u_{-1,0} & \cdots & u_{-2T,-2T} \\ u_{0,+1} & u_{0,0} & \cdots & u_{0,1-2T} & u_{-1,+1} & \cdots & u_{-2T,-2T+1} \\ & & \cdots & & \cdots & & \\ u_{+2T,+2T} & u_{+2T,+2T-1} & \cdots & u_{+2T,0} & u_{+2T-1,+2T} & \cdots & u_{0,0} \end{bmatrix} \quad , \quad (4.22)$$

dimensão: $(2T+1)^2 \times (2T+1)^2$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \theta_{0,0} & \theta_{0,-1} & \cdots & \theta_{0,-2T} & \theta_{-1,0} & \cdots & \theta_{-2T,-2T} \\ \theta_{0,+1} & \theta_{0,0} & \cdots & \theta_{0,1-2T} & \theta_{-1,+1} & \cdots & \theta_{-2T,-2T+1} \\ & & \cdots & & \cdots & & \\ \theta_{+2T,+2T} & \theta_{+2T,+2T-1} & \cdots & \theta_{+2T,0} & \theta_{+2T-1,+2T} & \cdots & \theta_{0,0} \end{bmatrix} \quad . \quad (4.23)$$

dimensão: $(2T+1)^2 \times (2T+1)^2$

Estes truncamentos, que tornaram **F** e **A** quadradas e de mesma dimensão, não são necessários caso se use uma convolução circular, ao invés da linear, e se respeite a

restrição $M_2 = M_1 = T$. A partir deste ponto, todo o desenvolvimento desta tese se baseará em filtragens usando convoluções circulares para a restauração do impulso, pois, com elas, será possível obterem-se resultados precisos e que não requeiram aproximações. Isto quer dizer que a filtragem realizada para restaurar o impulso usará a convolução circular. Sendo assim:

$$\mathbf{F_{circ}} = \begin{bmatrix} u_{0,0} & u_{0,-1} & \cdots & u_{0,+1} & u_{-1,0} & \cdots & u_{+1,+1} \\ u_{0,+1} & u_{0,0} & \cdots & u_{0,+2} & u_{-1,+1} & \cdots & u_{+1,+2} \\ & \cdots & & & \cdots & & \\ u_{-1,-1} & u_{-1,-2} & \cdots & u_{-1,0} & u_{-2,-1} & \cdots & u_{0,0} \end{bmatrix}, \quad \text{dimensão: } (2T+1)^2 \times (2T+1)^2 \qquad (4.24)$$

$$\mathbf{A_{circ}} = \begin{bmatrix} \theta_{0,0} & \theta_{0,-1} & \cdots & \theta_{0,+1} & \theta_{-1,0} & \cdots & \theta_{+1,+1} \\ \theta_{0,+1} & \theta_{0,0} & \cdots & \theta_{0,+2} & \theta_{-1,+1} & \cdots & \theta_{+1,+2} \\ & \cdots & & & \cdots & & \\ \theta_{-1,-1} & \theta_{-1,-2} & \cdots & \theta_{-1,0} & \theta_{-2,-1} & \cdots & \theta_{0,0} \end{bmatrix}. \quad \text{dimensão: } (2T+1)^2 \times (2T+1)^2 \qquad (4.25)$$

Para facilitar a notação de $\mathbf{F_{circ}}$ e de $\mathbf{A_{circ}}$, que deste ponto em diante serão representadas simplesmente como **F** e **A**, será adotada uma notação baseada em blocos. Seja $\mathbf{H_r}$ um operador que transforme a linha r de uma janela genérica **v** ($2N+1$ x $2N+1$) numa matriz circulante $2N+1$ x $2N+1$ de acordo com a regra da equação 4.26.

$$\mathbf{H_r(v)} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{r,0} & \mathbf{v}_{r,-1} & \mathbf{v}_{r,-2} & \cdots & \mathbf{v}_{r,+3} & \mathbf{v}_{r,+2} & \mathbf{v}_{r,+1} \\ \mathbf{v}_{r,+1} & \mathbf{v}_{r,0} & \mathbf{v}_{r,-1} & \cdots & \mathbf{v}_{r,+4} & \mathbf{v}_{r,+3} & \mathbf{v}_{r,+2} \\ & \cdots & & & & \cdots & \\ \mathbf{v}_{r,+N} & \mathbf{v}_{r,+N-1} & \mathbf{v}_{r,+N-2} & \cdots & \mathbf{v}_{r,-N+2} & \mathbf{v}_{r,-N+1} & \mathbf{v}_{r,-N} \\ \mathbf{v}_{r,-N} & \mathbf{v}_{r,+N} & \mathbf{v}_{r,+N-1} & \cdots & \mathbf{v}_{r,-N+3} & \mathbf{v}_{r,-N+2} & \mathbf{v}_{r,-N+1} \\ & \cdots & & & & \cdots & \\ \mathbf{v}_{r,-1} & \mathbf{v}_{r,-2} & \mathbf{v}_{r,-3} & \cdots & \mathbf{v}_{r,+2} & \mathbf{v}_{r,+1} & \mathbf{v}_{r,0} \end{bmatrix}. \quad \text{dimensão: } (2N+1) \times (2N+1) \qquad (4.26)$$

Com a definição do operador $\mathbf{H}_r$, já pode-se exprimir **F** e de **A** da seguinte forma:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \mathbf{H_0}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_{-1}}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_{-T}}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_{+T}}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_{+1}}(\mathbf{U}) \\ \mathbf{H_{+1}}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_0}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_{-T+1}}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_{-T}}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_{+2}}(\mathbf{U}) \\ & \dots & & & \dots & & \\ \mathbf{H_{+T}}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_{+T-1}}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_0}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_{-1}}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_{-T}}(\mathbf{U}) \\ \mathbf{H_{-T}}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_{+T}}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_{+1}}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_0}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_{-T+1}}(\mathbf{U}) \\ & \dots & & & \dots & & \\ \mathbf{H_{-1}}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_{-2}}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_{+T}}(\mathbf{U}) & \mathbf{H_{+T-1}}(\mathbf{U}) & \dots & \mathbf{H_0}(\mathbf{U}) \end{bmatrix}, \quad (4.27)$$

dimensão: $(2T+1)^2 \times (2T+1)^2$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{H_0}(\Theta) & \mathbf{H_{-1}}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_{-T}}(\Theta) & \mathbf{H_{+T}}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_{+1}}(\Theta) \\ \mathbf{H_{+1}}(\Theta) & \mathbf{H_0}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_{-T+1}}(\Theta) & \mathbf{H_{-T}}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_{+2}}(\Theta) \\ & \dots & & & \dots & & \\ \mathbf{H_{+T}}(\Theta) & \mathbf{H_{+T-1}}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_0}(\Theta) & \mathbf{H_{-1}}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_{-T}}(\Theta) \\ \mathbf{H_{-T}}(\Theta) & \mathbf{H_{+T}}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_{+1}}(\Theta) & \mathbf{H_0}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_{-T+1}}(\Theta) \\ & \dots & & & \dots & & \\ \mathbf{H_{-1}}(\Theta) & \mathbf{H_{-2}}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_{+T}}(\Theta) & \mathbf{H_{+T-1}}(\Theta) & \dots & \mathbf{H_0}(\Theta) \end{bmatrix}. \quad (4.28)$$

dimensão: $(2T+1)^2 \times (2T+1)^2$

Nota-se, inspecionando as equações 4.27 e 4.28, que **F** e **A** são circulantes por blocos (que também são circulantes).

Resta agora uma única questão: garantir que $\mathbf{F}^t (\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \mathbf{C_b})^{-1}$ tenha os termos devidos aparecendo com o formato genérico apresentado nas equações 4.25 e 4.28, de forma que **A** realmente represente um operador convolutor. Contudo, isto não é problema pois facilmente se demonstra [28] que a inversa, se ela existir, de uma matriz circulante por blocos também é circulante por blocos.

Uma observação importante é que, fazendo **F** circulante por blocos, ao invés de circulante, como mostra a abordagem original na equação 4.4, permite-se que o padrão mantenha sua forma com qualquer deslocamento (m_0,n_0) do impulso, tanto na vertical, quanto na horizontal. Vale ressaltar que isto não acontece na abordagem original ao apenas concatenarem-se as linhas transpostas da imagem, já que um deslocamento à

esquerda do impulso faz com que a nova imagem tenha todos os pixels à direita sendo preenchidos com os pixels da linha anterior (e não da mesma linha !) à esquerda, o que deforma a imagem.

Seja o exemplo numérico usando as equações 4.27 e 4.28, que representam **F** e **A** para uma convolução circular, onde $\mathbf{C_b} = \mathbf{0}$ (matriz nula), $T = 1$ e **U** é o padrão:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{4.29}$$

que oferece

$$\mathbf{g} = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 1 \\ \hline 0 \\ 1 \\ 1 \\ \hline 0 \\ 0 \\ 0 \end{array}\right] . \tag{4.30}$$

Então (pela equação 4.27):

$$\mathbf{F} = \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array}\right] \tag{4.31}$$

e (eq. 4.11)

$$\mathbf{A} = \mathbf{F}^{-1} = 0{,}25 \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc} 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ \hline -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 \end{array}\right]. \quad (4.32)$$

Mas, devido à restrição quanto ao formato de **A** imposta pela equação 4.28,

$$\mathbf{A} = \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc} \theta_{0,0} & \theta_{0,-1} & \theta_{0,+1} & \theta_{-1,0} & \theta_{-1,-1} & \theta_{-1,+1} & \theta_{+1,0} & \theta_{+1,-1} & \theta_{+1,+1} \\ \theta_{0,+1} & \theta_{0,0} & \theta_{0,-1} & \theta_{-1,+1} & \theta_{-1,0} & \theta_{-1,-1} & \theta_{+1,+1} & \theta_{+1,0} & \theta_{+1,-1} \\ \theta_{0,-1} & \theta_{0,+1} & \theta_{0,0} & \theta_{-1,-1} & \theta_{-1,+1} & \theta_{-1,0} & \theta_{+1,-1} & \theta_{+1,+1} & \theta_{+1,0} \\ \hline \theta_{+1,0} & \theta_{+1,-1} & \theta_{+1,+1} & \theta_{0,0} & \theta_{0,-1} & \theta_{0,+1} & \theta_{-1,0} & \theta_{-1,-1} & \theta_{-1,+1} \\ \theta_{+1,+1} & \theta_{+1,0} & \theta_{+1,-1} & \theta_{0,+1} & \theta_{0,0} & \theta_{0,-1} & \theta_{-1,+1} & \theta_{-1,0} & \theta_{-1,-1} \\ \theta_{+1,-1} & \theta_{+1,+1} & \theta_{+1,0} & \theta_{0,-1} & \theta_{0,+1} & \theta_{0,0} & \theta_{-1,-1} & \theta_{-1,+1} & \theta_{-1,0} \\ \hline \theta_{-1,0} & \theta_{-1,-1} & \theta_{-1,+1} & \theta_{+1,0} & \theta_{+1,-1} & \theta_{+1,+1} & \theta_{0,0} & \theta_{0,-1} & \theta_{0,+1} \\ \theta_{-1,+1} & \theta_{-1,0} & \theta_{-1,-1} & \theta_{+1,+1} & \theta_{+1,0} & \theta_{+1,-1} & \theta_{0,+1} & \theta_{0,0} & \theta_{0,-1} \\ \theta_{-1,-1} & \theta_{-1,+1} & \theta_{-1,0} & \theta_{+1,-1} & \theta_{+1,+1} & \theta_{+1,0} & \theta_{0,-1} & \theta_{0,+1} & \theta_{0,0} \end{array}\right]. \quad (4.33)$$

Uma rápida inspeção nas equações 4.32 e 4.33 permite constatar que a matriz **A**, inversa de **F**, possui a forma de um operador convolutor circular **Θ**, onde

$$\mathbf{\Theta} = 0{,}25 \left[\begin{array}{ccc} -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 \end{array}\right]. \quad (4.34)$$

Como conferência, pode-se efetuar a convolução circular entre **Θ** e **U**, como ilustrado no resultado da equação 4.35:

$$\mathbf{C} = \Theta * \mathbf{U} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{4.35}$$

ou

$$\boldsymbol{\delta} = \mathbf{A}\,\boldsymbol{g} = \left[\, 0\ 0\ 0 \mid 0\ 1\ 0 \mid 0\ 0\ 0 \,\right]^{t} \quad . \tag{4.36}$$

Este resultado representa um impulso perfeito ($DSNR_2$ infinita) na amostra central de **C**, ou seja, a de coordenadas (0,0).

Para detectar-se o impulso deslocado duas amostras à esquerda, de forma a obter-se $\boldsymbol{\delta} = [\, 0\ 0\ 0 \mid 0\ 0\ 1 \mid 0\ 0\ 0\,]^{t}$ (notar que as amostras 0 1 0 da linha central de **C** ou $\boldsymbol{\delta}$ devem circular antes da transposição das linhas), a imagem que deveria ser observada é

$$\mathbf{g}_{2\ \text{à esq.}} = \left[\begin{array}{c} 1 \\ 0 \\ 1 \\ \hline 1 \\ 0 \\ 1 \\ \hline 0 \\ 0 \\ 0 \end{array}\right] \quad . \tag{4.37}$$

Nota-se que todas as linhas transpostas de **g** circularam à esquerda internamente, dentro das próprias linhas e antes da concatenação, para que fosse obtido $\mathbf{g}_{2\ \text{à esq.}}$. Pela abordagem original, que usa uma matriz **F** circulante ao invés de circulante por blocos, $\mathbf{g}_{2\ \text{à esq.}}$ seria $[\, 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\,]^{t}$, o que deformaria morfologicamente o padrão **U**.

4.3. A Abordagem Alternativa como um Problema de Restauração do Impulso

Como problema ainda em aberto, resta exprimir a abordagem alternativa da filtragem discriminativa, apresentada no capítulo anterior, também como um problema de restauração do impulso.

A abordagem alternativa foi motivada pelo fato de desejar-se que qualquer imagem, diferente do padrão **U** usado para o cálculo de **Θ**, não resulte, quando convoluída com **Θ**, numa $DSNR_2$ maior que aquela gerada pela convolução entre **U** e **Θ**.

Maximizar a $DNSR_2$, como problema de restauração do impulso, eqüivale a minimizar $E[\| \boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}} \|^2]$, que é o erro quadrático médio de estimação. Já a abordagem alternativa é resolvida ao encontrar-se a matriz **A** tal que $E[\| \boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}} \|^2]$, que é uma função $\zeta(\mathbf{F},\mathbf{A},\mathbf{C_b}/N)$ (**F** é a matriz circulante por blocos construída para um padrão genérico), seja mínima quando $\mathbf{F} = \underline{\mathbf{F}}$, onde $\underline{\mathbf{F}}$ é o padrão cuja discriminação é desejada.

Seja o resultado da equação 4.38:

$$
\begin{aligned}
E[\| \boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}} \|^2] &= \zeta(\mathbf{F},\mathbf{A},\mathbf{C_b}/N) \\
&= E\{ (\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\boldsymbol{g})^t (\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\boldsymbol{g}) \} \\
&= E\{ (\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\mathbf{F}\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\boldsymbol{b})^t (\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\mathbf{F}\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\boldsymbol{b}) \} \\
&= E\{ \boldsymbol{\delta}^t\boldsymbol{\delta} - \boldsymbol{\delta}^t\mathbf{A}\mathbf{F}\boldsymbol{\delta} - \boldsymbol{\delta}^t\mathbf{F}^t\mathbf{A}^t\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{\delta}^t\mathbf{F}^t\mathbf{A}^t\mathbf{A}\mathbf{F}\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b}^t\mathbf{A}^t\mathbf{A}\boldsymbol{b} \} \\
&= E\{ \boldsymbol{\delta}^t\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b}^t\mathbf{A}^t\mathbf{A}\boldsymbol{b} \} + E\{ \boldsymbol{\delta}^t (\mathbf{F}^t\mathbf{A}^t\mathbf{A}\mathbf{F} - \mathbf{A}\mathbf{F} - \mathbf{F}^t\mathbf{A}^t) \boldsymbol{\delta} \} . \qquad (4.38)
\end{aligned}
$$

Como pode ser observado, apenas o segundo termo do resultado acima depende de **F**. Resta então fazer seu mínimo acontecer quando $\mathbf{F} = \underline{\mathbf{F}}$. Para isto, reescreve-se esse termo da seguinte forma:

$$
\begin{aligned}
&E\{ \boldsymbol{\delta}^t (\mathbf{F}^t\mathbf{A}^t\mathbf{A}\mathbf{F} - \mathbf{A}\mathbf{F} - \mathbf{F}^t\mathbf{A}^t) \boldsymbol{\delta} \} = \\
&E\{ \boldsymbol{\delta}^t (\mathbf{I} - \mathbf{A}\mathbf{F})^t (\mathbf{I} - \mathbf{A}\mathbf{F}) \boldsymbol{\delta} \} - E\{ \boldsymbol{\delta}^t\boldsymbol{\delta} \} = \\
&E\{ \boldsymbol{\delta}^t (\mathbf{I} - \mathbf{A}\mathbf{F})^t (\mathbf{I} - \mathbf{A}\mathbf{F}) \boldsymbol{\delta} \} - 1/N \quad . \qquad (4.39)
\end{aligned}
$$

Contudo, é fácil ver que

$$
\begin{aligned}
&E\{ \boldsymbol{\delta}^t (\mathbf{I} - \mathbf{A}\mathbf{F})^t (\mathbf{I} - \mathbf{A}\mathbf{F}) \boldsymbol{\delta} \} = \\
&E\{ \| (\mathbf{I} - \mathbf{A}\mathbf{F}) \boldsymbol{\delta} \|^2 \} \geq 0 \quad . \qquad (4.40)
\end{aligned}
$$

Desta forma, basta encontrar um valor de **A** que anule a inequação 4.40 quando $\mathbf{F} = \underline{\mathbf{F}}$. Este valor, por inspeção é:

$$\mathbf{A} = \underline{\mathbf{F}}^{-1} \quad . \tag{4.41}$$

O interessante deste resultado é que o estimador linear obtido com a abordagem alternativa independe de quaisquer estatísticas do ruído (resto da imagem).

4.4. A Abordagem Mista como um Problema de Restauração do Impulso

Para finalizar, resta conjugar as formulações das duas seções anteriores, de forma a também exprimir a abordagem mista, colocada no capítulo anterior, como um problema de restauração do impulso.

A abordagem mista visa a ponderar dois termos na busca do operador **A**. O primeiro deles é tal que, quanto menor, maior a $DSNR_2$. Como já foi visto, este termo é $E[\| \boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}} \|^2]$. O segundo deve ser tal que, quanto menor, maior a função $\mathbf{g}(\Theta)$, definida no capítulo anterior. Seguindo a mesma idéia da definição de $\mathbf{g}(\Theta)$, o termo $E \{ \| (\mathbf{I} - \mathbf{AF}) \boldsymbol{\delta} \|^2 \}$ expressa o quanto se afasta da solução pela abordagem alternativa.

Desta forma, a equação 4.42 mostra como estes termos podem ser ponderados (operador **DF**), através de uma constante K ($0 \leq K \leq 1$), na busca pela solução mista:

$$\begin{aligned} \mathbf{DF}(\mathbf{A}) &= (1\text{-}K)\, E[\| \boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}} \|^2] + K\, E\, [\| (\mathbf{I} - \mathbf{AF}) \boldsymbol{\delta} \|^2] \\ &= (1\text{-}K)\, E[\| \boldsymbol{\delta} - \mathbf{AF}\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\boldsymbol{b} \|^2] + K\, E\, [\| (\mathbf{I} - \mathbf{AF}) \boldsymbol{\delta} \|^2] \quad . \end{aligned} \tag{4.42}$$

Como, por hipótese, o impulso $\boldsymbol{\delta}$ e o ruído $\boldsymbol{b}$ são descorrelacionados, a equação 4.42 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\begin{aligned} DF(\mathbf{A}) &= (1\text{-}K)\, E[\| \boldsymbol{\delta} - \mathbf{AF}\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\boldsymbol{b} \|^2] + K\, E\, [\| (\mathbf{I} - \mathbf{AF}) \boldsymbol{\delta} \|^2] \\ &= (1\text{-}K)\, E[\| \boldsymbol{\delta} - \mathbf{AF}\boldsymbol{\delta} \|^2] + (1\text{-}K)\, E[\| \mathbf{A}\boldsymbol{b} \|^2] + K\, E\, [\| (\mathbf{I} - \mathbf{AF}) \boldsymbol{\delta} \|^2] \\ &= (1\text{-}K)\, E[\| (\mathbf{I} - \mathbf{AF}) \boldsymbol{\delta} \|^2] + (1\text{-}K)\, E[\| \mathbf{A}\boldsymbol{b} \|^2] + K\, E\, [\| (\mathbf{I} - \mathbf{AF}) \boldsymbol{\delta} \|^2] \\ &= E[\| (\mathbf{I} - \mathbf{AF}) \boldsymbol{\delta} \|^2] + (1\text{-}K)\, E[\| \mathbf{A}\boldsymbol{b} \|^2] \text{ (que, devido à descorrelação entre } \boldsymbol{\delta} \text{ e } \boldsymbol{b}) \\ &= E[\| \boldsymbol{\delta} - \mathbf{AF}\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\, \{(1\text{-}K)^{1/2}\boldsymbol{b}\} \|^2] \\ &= E[\| \boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\boldsymbol{g} \|^2] \qquad (\text{onde } \boldsymbol{g} = \mathbf{AF} + \{1\text{-}K\}^{1/2}\boldsymbol{b}) \\ &= \zeta(\mathbf{F}, \mathbf{A}, \{1\text{-}K\}\mathbf{C_b}/N) \quad . \end{aligned} \tag{4.43}$$

O resultado da equação 4.43 é muito significativo, pois diz que a solução mista desejada é calculada como num problema idêntico ao já resolvido na seção 4.3, porém trocando-se $\mathbf{C_b}/N$ por $(1\text{-}K)\,\mathbf{C_b}/N$. Assim, o valor de **A**, pela abordagem mista, é:

$$\mathbf{A} = \mathbf{F}^t (\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \{1\text{-}K\}\mathbf{C_b})^{-1}, \qquad (4.44)$$

ou

$$\mathbf{A} = (\mathbf{F}^t\,\mathbf{C_b}^{-1}\,\mathbf{F} + \{1\text{-}K\}\,\mathbf{I})^{-1}\,\mathbf{F}^t\,\mathbf{C_b}^{-1} \quad . \qquad (4.45)$$

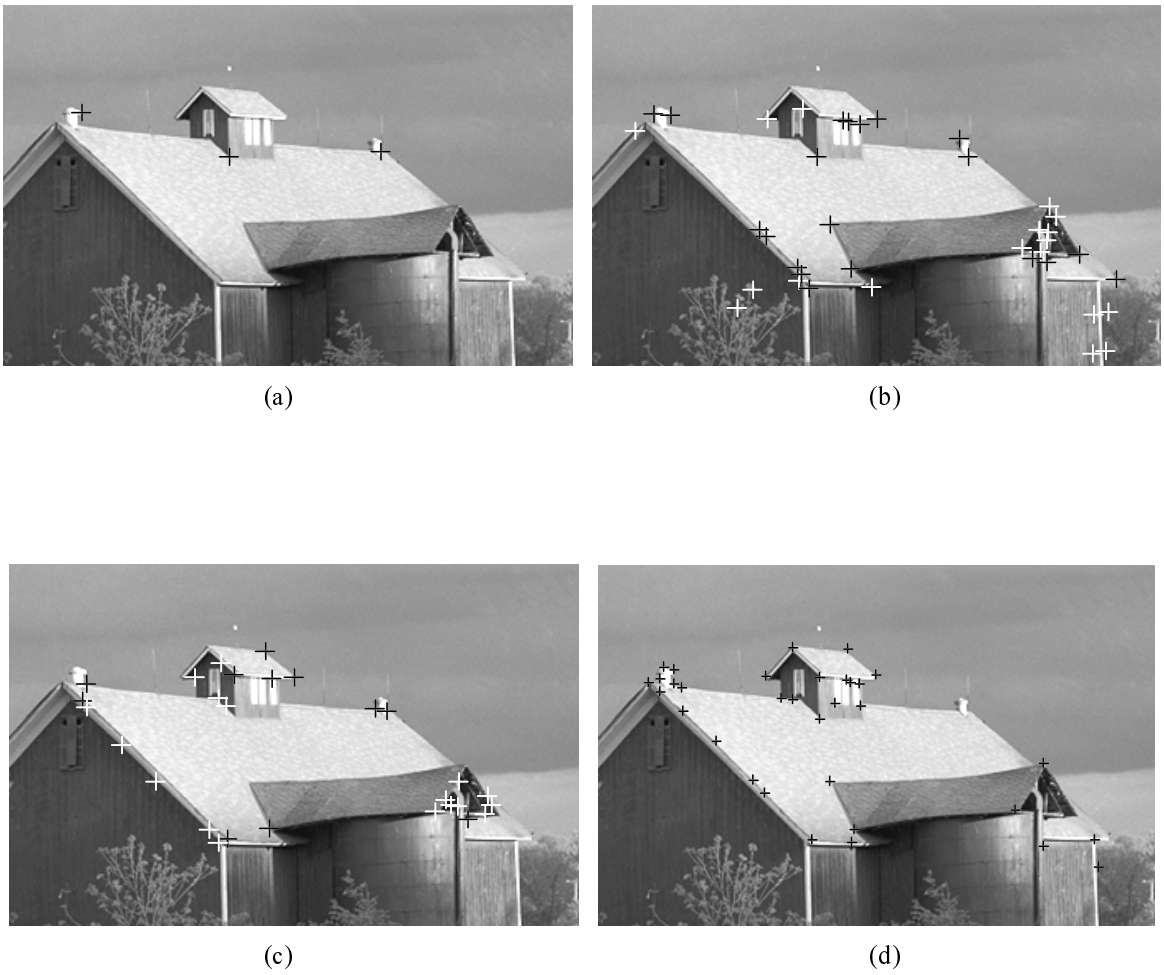
4.5. Simulações

Para testar o método de cálculo dos filtros discriminativos apresentado neste capítulo, foi usado o mesmo esquema de detecção de padrões apresentado no capítulo anterior (figura 3.8). Os padrões escolhidos foram novamente quinas de 45^0, 90^0 e 135^0 agora construídas dentro de janelas 7x7. A figura 4.1 ilustra alguns resultados do capítulo anterior e a figura 4.2 mostra as simulações obtidas a partir dos filtros convolutores circulares obtidos com o método de cálculo apresentado neste capítulo (equação 4.44, para $K = 1$).

Como o cálculo dos filtros discriminativos requer o uso de algum processo numérico de otimização, é claro que o cálculo dos filtros utilizando o processo descrito neste capítulo é bem mais preciso. Isto pode ser comprovado ao serem comparados os resultados das figuras 4.1 e 4.2, assim como os valores da tabela 4.1. As quinas pelos filtros propostos neste capítulo foram detectadas com um número bem menor de falsas-detecções, ao contrário do método original. Isto pode ser constatado após uma rápida observação na lateral esquerda (de quem olha) do telhado, principalmente no início e no fim da descida.

A figura 4.3 e a figura 4.4 mostram simulações com um filtro que discrimina a letra "E" (maiúscula, Arial, 8 pt.). Um detalhe importante é que os métodos numéricos usados no capítulo 3 não conseguiram uma convergência para o filtro discriminativo deste padrão. Para o filtro da figura 4.3, usou-se $\mathbf{C_b}/N = 1518{,}75\,\mathbf{I}$ (pois, neste caso, a variância do ruído é conhecida e igual a $135^2/12$) nas equações 4.12 e 4.13. Já na imagem Lena (figura 4.4), optou-se pela abordagem alternativa, já que não se tem informação sobre o ruído. Em ambos os casos, a matriz **F** foi constituída apenas por termos iguais a 0 ou 255. Notar que houve um acerto de 100 % na frase sobre o ruído

sintetizado na figura 4.3, enquanto que na Lena houve a perda de uma das letras (o "E" mais à esquerda sobre o cabelo).



(a) (b)

(c) (d)

Figura 4.1. (a)(b)(c) Quinas de 90^0, 45^0 e 135^0 detectadas via métodos numéricos do capítulo anterior para a abordagem mista. (d) Quinas detectadas em [7].

(a)

(b)

(c)

Figura 4.2. (a)(b)(c) Quinas de 90^0, 45^0 e 135^0 detectadas fazendo-se K = 1 na equação 4.44.

Tabela 4.1. Resumo das simulações com a casa de campo usando o método proposto neste capítulo. Nesta tabela, estão listadas as quinas obtidas através de uma inspeção visual e as quinas detectadas usando cada um dos métodos testados, incluindo falsas detecções e quinas julgadas sem importância ou irrelevantes, como aquelas detectadas sobre as árvores. O símbolo ∞ significa um número muito grande (vide fig. 3.11-g).

		Nº de quinas detectadas usando cada método				
	nº esperado	A (Cap. 3)	B (Cap. 3)	C (Cap. 3)	[7]	Restauração do impulso (Cap. 4)
quinas de 90^0 na parede frontal	2	-	-	-	1	1
quinas de 135^0 na parede lateral	1	1	∞	1	-	1
quinas de 45^0 no telhado	2	2	2	2	-	-
quinas de 135^0 no telhado	1	1	∞	1	1	1
quinas nas duas chaminés	8	5	4	5	4	6
quinas de 45^0 no toldo	2	2	2	2	2	2
quinas de 135^0 no toldo	2	2	∞	2	2	2
quinas abaixo do toldo	6	6	∞	6	-	4
quinas de 45^0 na casinha	4	3	3	3	4	4
quinas de 90^0 na casinha	5	1	1	1	5	3
quinas de 135^0 na casinha	4	4	∞	3	3	4
quinas irrelevantes (exemplo: na árvore)	-	9	∞	3	2	4
quinas falsas de 90^0	-	-	-	-	8	1
quinas falsas de 45^0	-	22	14	13		2
quinas falsas de 135^0	-	13	∞	10		4

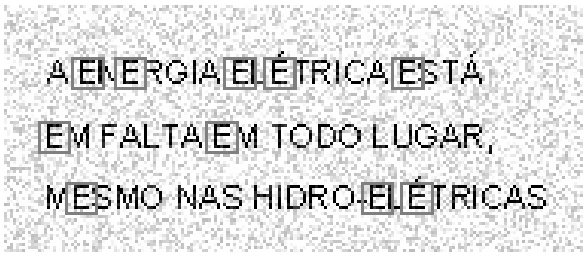


Figura 4.3. Letra "E" (Arial, 8pt.) detectada num texto corrompido por um ruído uniforme com 135 unidades (em escala de cinza) de amplitude.

Figura 4.4. Letra "E" (Arial, 8pt.) detectada sobre a imagem da Lena. Apenas uma ocorrência não foi detectada.

Uma questão importante do método aqui proposto é a dificuldade de condicionar a matriz **F** de forma que ela seja inversível quando se deseja $\mathbf{A} = \mathbf{F}^{-1}$ na abordagem alternativa. As quinas de 90^0 e 135^0 não causaram problemas e foram construídas como na equação 4.29, porém em formato 7x7 e com alguns pontos mascarados (vide seção 3.11). Contudo, esta tarefa não foi fácil para a quina de 45^0, que precisou de um pequeno truque: usar $\mathbf{C_b} = 0{,}00001\ \mathbf{I}$ e aplicar a equação 4.11, ao invés da equação 4.41, já que $\mathbf{F}\,\mathbf{F}^t + \mathbf{C_b}$ passou a ser inversível.

4.6. Simulações com uma Quina Genérica

Nesta seção, é proposta uma máscara especial (como a apresentada na seção 3.11) para uma quina genérica, ou seja, uma máscara que sirva para detectar quinas com um ângulo qualquer.

Uma quina genérica, construída a partir do uso de uma máscara especial, engloba as três quinas utilizadas no capítulo 3 (45^0, 90^0 e 135^0), mostradas na figura 4.5. Esta construção, conforme ilustrado nas figuras 4.6 e 4.7, flexibiliza o formato do padrão, já que os pixels marcados em cinza escuro (na fig. 4.7) possuem pesos nulos, sendo mascarados de forma a permitir a incerteza no valor do ângulo da quina de 45^0 a 135^0.

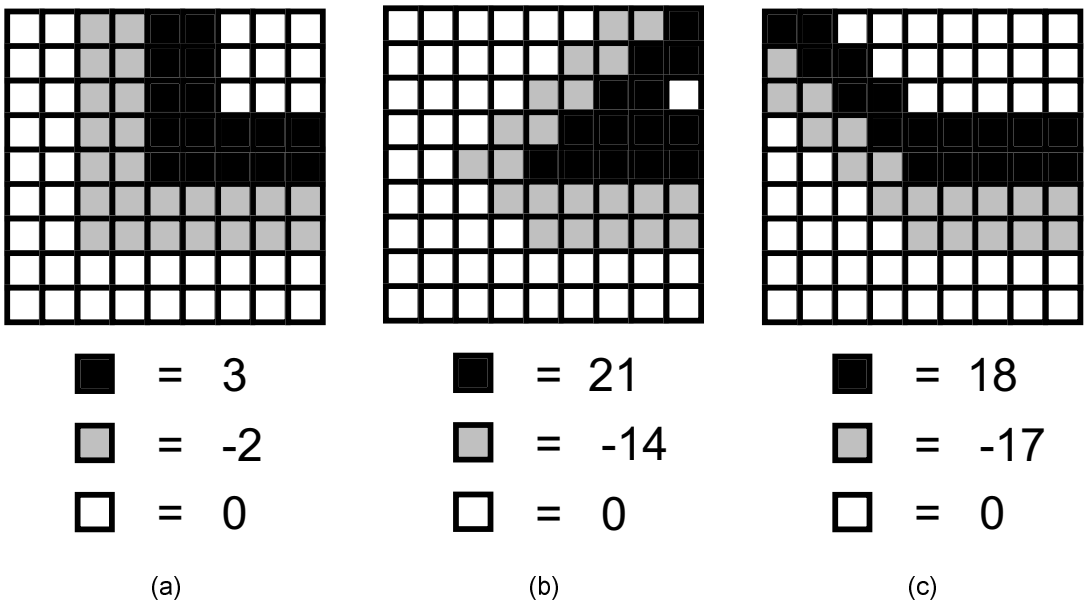


Figura 4.5. Padrões de quinas construídas a partir de máscaras especiais.

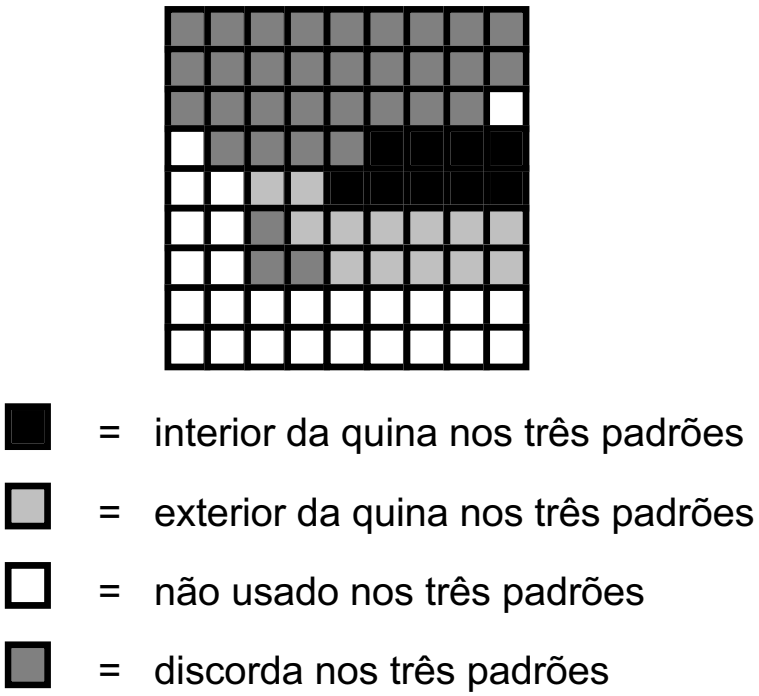


Figura 4.6. Pixels de mesma cor ou discordantes, relativos aos três padrões da figura 4.5.

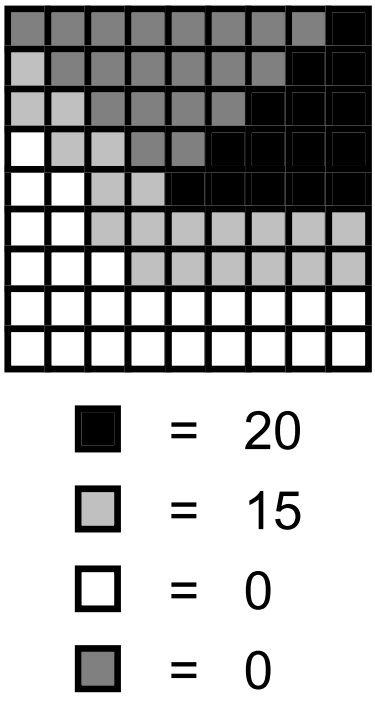


Figura 4.7. Padrão especial que pondera apenas
os pixels marcados em cinza claro e em preto.

Como observado na figura 4.7, só duas regiões da janela interessam para o processamento. A primeira delas é a região em cinza claro, que não pertence ao objeto, ou seja, que está no exterior da quina. A segunda é a região em preto, que está no interior da quina. Como os pixels localizados na região pintada de cinza escuro são irrelevantes no processamento, o uso desta máscara especial permite a detecção de quinas com imperfeições e ligeiramente arredondadas. As figuras 4.8 e 4.9 ilustram o processamento com as quinas genéricas detectadas sobre a casa de campo. Nestas simulações, usou-se a abordagem alternativa da restauração do impulso.

Figura 4.8. Detecção das quinas genéricas 9x9 sobre a casa de campo (limiar para $DSNR_2 = 1{,}1$).

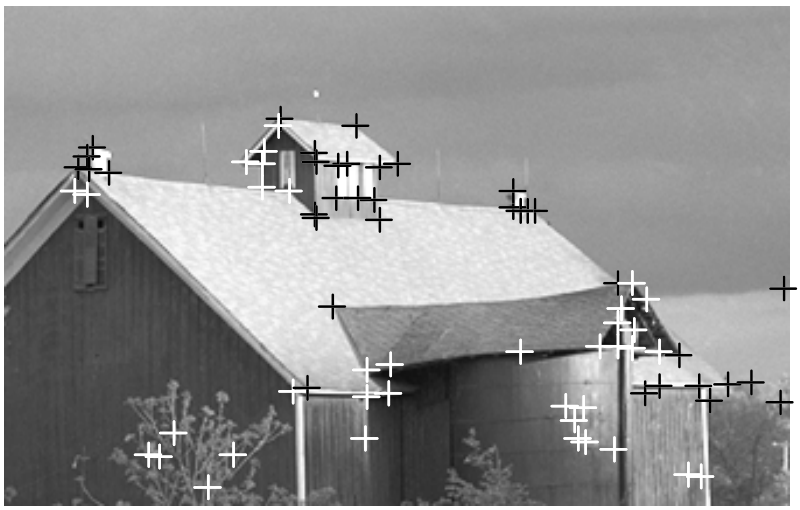


Figura 4.9. Detecção das quinas genéricas 9x9 sobre a casa de campo após uma segmentação (limiar para $DSNR_2 = 1{,}0$).

4.7. Conclusões

Neste capítulo, a filtragem discriminativa foi modelada como um problema de restauração do impulso. O principal objetivo do método proposto é obter um filtro bidimensional que, quando circularmente convoluído com um padrão de imagem, gere uma imagem de saída com a energia concentrada em apenas uma das amostras. A vantagem do método proposto em relação aos métodos anteriores (capítulo anterior e [7]) é não requerer qualquer algoritmo de otimização para o cálculo do filtro discriminativo, pois apresenta uma solução matemática formal e analítica. As simulações com a casa de campo mostram que o método funciona melhor que os métodos apresentados no capítulo anterior (A, B, C e [7]), pois, por ser mais preciso, oferece menos falsas-detecções.

5. Discriminação de Múltiplos Padrões

Nos Capítulos 3 e 4, foram propostos algoritmos para o cálculo de um filtro bidimensional a ser usado na discriminação de um único padrão específico. Neste capítulo, estão propostas soluções para filtros com a habilidade de discriminar simultaneamente mais de um padrão.

5.1. Filtro Discriminativo do Tipo "OU"

Uma possibilidade para algum algoritmo de discriminação de padrões é valer-se de um filtro com a habilidade de responder simultaneamente, com relação sinal-ruído discriminativa alta, a mais de um padrão de imagem. Por exemplo, pode-se calcular um filtro que discrimine as letras "A", "E" ou "O" das outras letras do alfabeto, ou seja, um filtro que ofereça uma $DSNR_2$ alta, quando a entrada for o padrão "A", "E" ou "O", e uma $DSNR_2$ baixa, caso contrário. A partir deste ponto, um filtro com esta característica passa a receber a designação de *Filtro Discriminativo do Tipo OU*.

A solução para o cálculo do filtro do tipo OU recai novamente no problema de restauração do impulso. Sejam $\boldsymbol{g}$ o vetor coluna construído a partir da concatenação das linhas transpostas da imagem, $\mathbf{F}_i$ a matriz circulante associada ao padrão i (como definida na equação 4.4) e $\boldsymbol{b}$ o vetor do ruído aditivo correspondente ao resto da imagem. Assim, deseja-se estimar o vetor $\boldsymbol{\delta}$, que marque a posição onde um dos padrões escolhidos ("A", "E" ou "O") esteja localizado.

Supondo, como na dedução do Capítulo 4, que o vetor aleatório de ruído $\boldsymbol{b}$ seja gaussiano, de média nula e matriz covariância $1/N\ \mathbf{C_b}$ e que o vetor aleatório $\boldsymbol{\delta}$ tenha matriz autocorrelação igual a $1/N$ vezes a matriz identidade $\mathbf{I}$ N x N (vide equação 4.5), a melhor estimativa para $\boldsymbol{\delta}$ (isto é $\hat{\boldsymbol{\delta}}$), que minimize o erro médio quadrático $E[\| \boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}} \|^2$ e que seja linear em relação à observação $\boldsymbol{g}$ (ou seja, $\hat{\boldsymbol{\delta}} = \mathbf{A}\,\boldsymbol{g}$), pelo princípio da ortogonalidade, é aquela que faz o erro $\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}$ ser descorrelacionado da observação $\boldsymbol{g}$. Desta forma, é necessário calcular $\mathbf{A}$ tal que

$$E\{(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}})\,\boldsymbol{g}^t\} = E\{(\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{g})\,\boldsymbol{g}^t\} = \mathbf{0} \quad . \tag{5.1}$$

Admitindo-se que cada padrão i tenha a probabilidade p_i de ocorrer a priori, a equação 5.1 pode então ser expandida da seguinte forma:

$$
\begin{aligned}
E\{(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}})\,\boldsymbol{g}^t\} &= E\{(\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{g})\,\boldsymbol{g}^t\} \\
&= \sum_i p_i\, E\{(\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\mathbf{F}_i\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{b})\,(\mathbf{F}_i\,\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b})^t\} \\
&= \sum_i p_i \Big\{ E\{\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t\mathbf{F}_i^t\} + E\{\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t\} - E\{\mathbf{A}\,\mathbf{F}\,\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t\mathbf{F}^t\} \\
&\qquad - E\{\mathbf{A}\,\mathbf{F}\,\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t\} - E\{\mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\,\boldsymbol{\delta}^t\mathbf{F}^t\} - E\{\mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\,\boldsymbol{b}^t\} \Big\} \\
&= \sum_i p_i \Big\{ E\{\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t\}\,\mathbf{F}^t + E\{\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t\} - \mathbf{A}\,\mathbf{F}\,E\{\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t\}\,\mathbf{F}^t \\
&\qquad - \mathbf{A}\,\mathbf{F}\,E\{\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t\} - \mathbf{A}\,E\{\boldsymbol{b}\,\boldsymbol{\delta}^t\}\,\mathbf{F}^t - \mathbf{A}\,E\{\boldsymbol{b}\,\boldsymbol{b}^t\} \Big\} = \mathbf{0}\ . \qquad (5.2)
\end{aligned}
$$

Com a hipótese de $\boldsymbol{\delta}$ e $\boldsymbol{b}$ serem descorrelacionados, pode-se aplicar as relações

$$E\{\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{\delta}^t\} = 1/N\,\mathbf{I}, \qquad (5.3)$$

$$E\{\boldsymbol{\delta}\boldsymbol{b}^t\} = \mathbf{0}, \qquad (5.4)$$

$$E\{\boldsymbol{b}\,\boldsymbol{b}^t\} = 1/N\,\mathbf{C_b}. \qquad (5.5)$$

Com os resultados acima, a equação 5.2 pode então ser reescrita como

$$\sum_i p_i \left\{ \mathbf{F}_i^t - \mathbf{A}\,\mathbf{F}_i\,\mathbf{F}_i^t - \mathbf{A}\,\mathbf{C_b} \right\} = \mathbf{0}\ . \qquad (5.6)$$

Conseqüentemente,

$$\mathbf{A} = \left\{ \sum_i p_i\, \mathbf{F}_i^t \right\} \left\{ \mathbf{C_b} + \sum_i p_i\, \mathbf{F}_i\,\mathbf{F}_i^t \right\}^{-1}. \qquad (5.7)$$

5.2. Exemplo

Para exemplificar o uso da equação 5.7, seja o caso para o qual se deseja calcular o filtro que discrimine as letras "A", "E" e "O" (*Arial*, 8 pt. em uma janela 9x9) das demais letras. De início, vale ressaltar que a matriz $\mathbf{F}_{\text{"A"}}$, calculada para o padrão "A", é

não-inversível, não permitindo portanto a solução pela abordagem alternativa com $\mathbf{A} = \mathbf{F}_{\text{"A"}}^{-1}$ apresentada no Capítulo 4.

Admitindo-se que as três probabilidades p_i da equação 5.7 sejam iguais e fazendo $\mathbf{C_b} = \mathbf{0}$, calculam-se então a matriz **A** (via equação 5.7) e, em seguida, o filtro $\boldsymbol{\Theta}$ (via equação 4.28). A tabela 5.1 mostra a relação sinal-ruído discriminativa ($DSNR_2$) na saída do filtro OU obtido quando aplicado aos três padrões escolhidos. Já a figura 5.1 ilustra as saídas do filtro circular do tipo OU após a convolução com os três padrões tomados ("A", "E" e "O").

Vale ressaltar que existe a flexibilidade de se manusearem os coeficientes p_i, com o intuito de se privilegiar um determinado padrão, remanejando assim valores de $DSNR_2$ entre os padrões. Um exemplo do uso deste recurso será visto mais tarde, na seção 5.5.

Tabela 5.1. $DSNR_2$ obtido via filtro OU para cada um dos 3 padrões.

	$DSNR_2$
"A"	0,3221
"E"	0,4153
"O"	0,7451

Tabela 5.2. $DSNR_2$ obtido via filtro OU para letras que não são padrões.

	$DSNR_2$
"I"	0,0001
"U"	0,0097

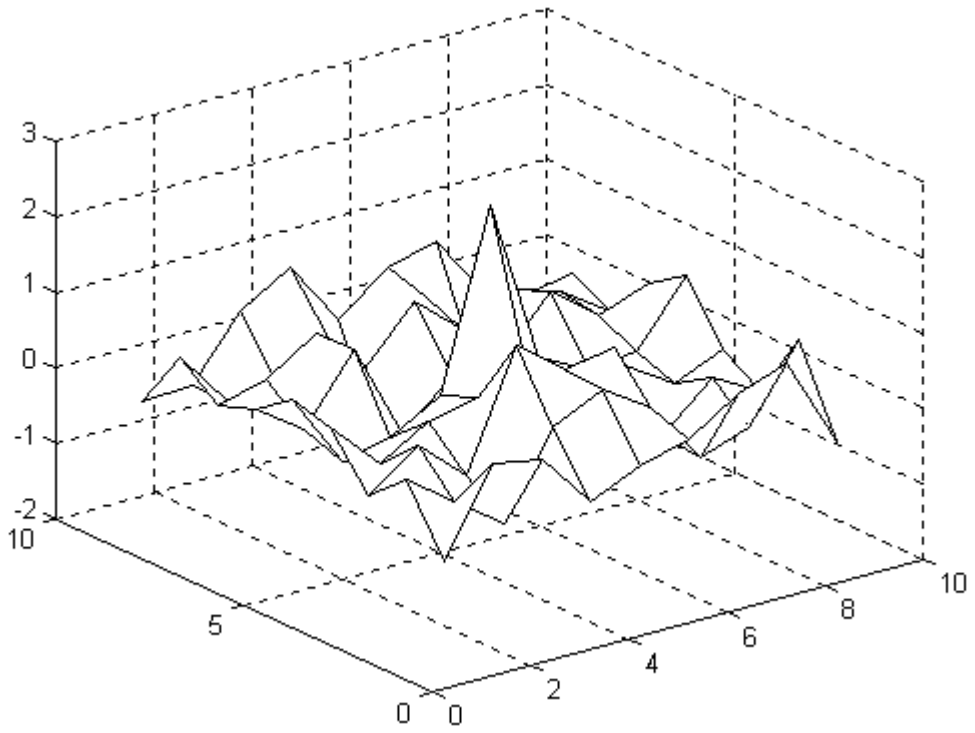


Figura 5.1. Energia das amostras de saída do filtro OU ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "A".

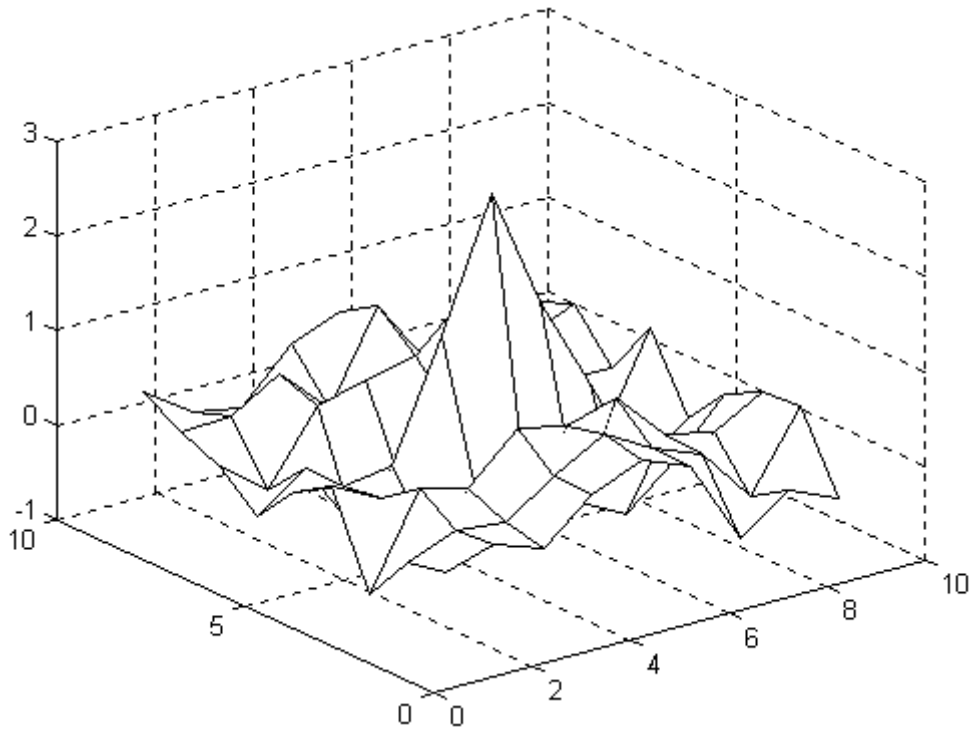


Figura 5.2. Energia das amostras de saída do filtro OU ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "E".

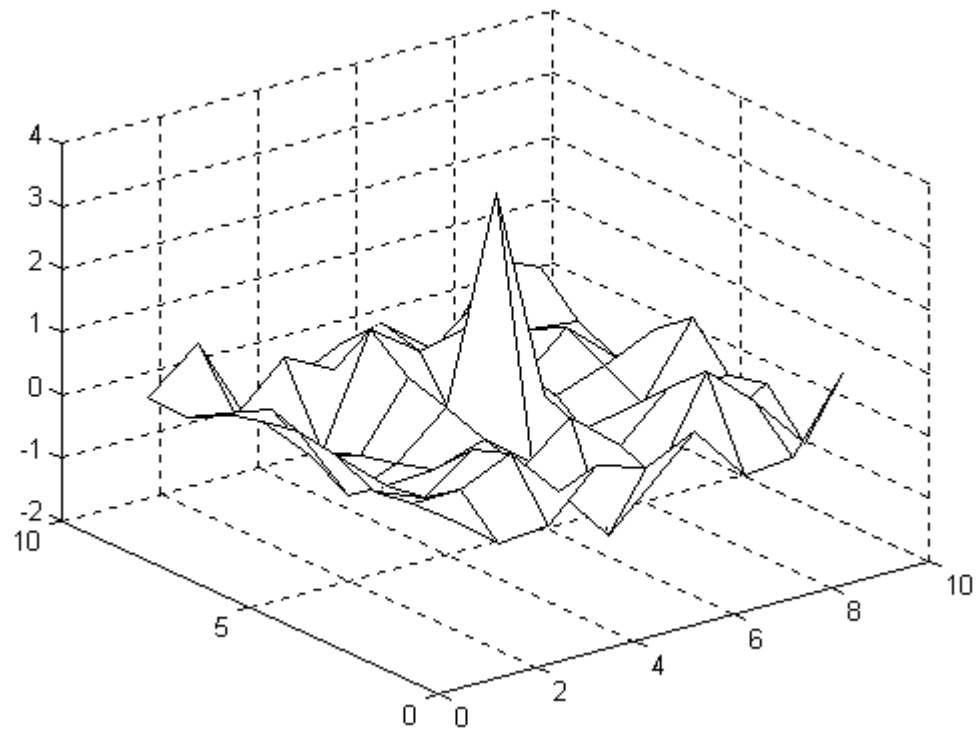


Figura 5.3. Energia das amostras de saída do filtro OU ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "O".

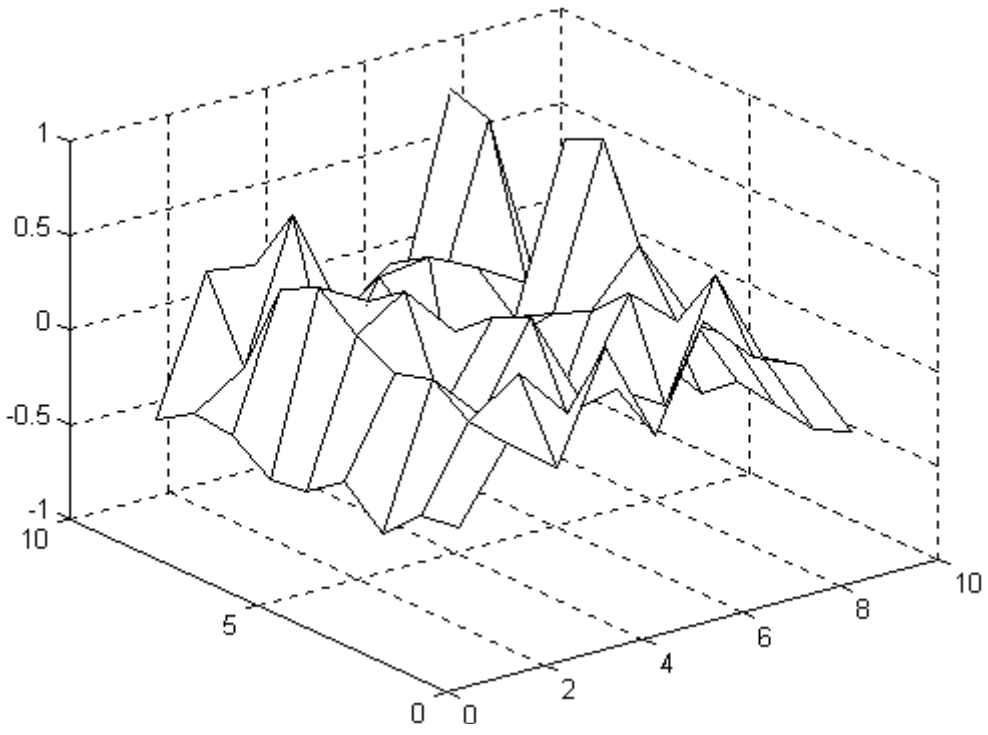


Figura 5.4. Energia das amostras de saída do filtro OU ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "I" não pertencente ao conjunto escolhido.

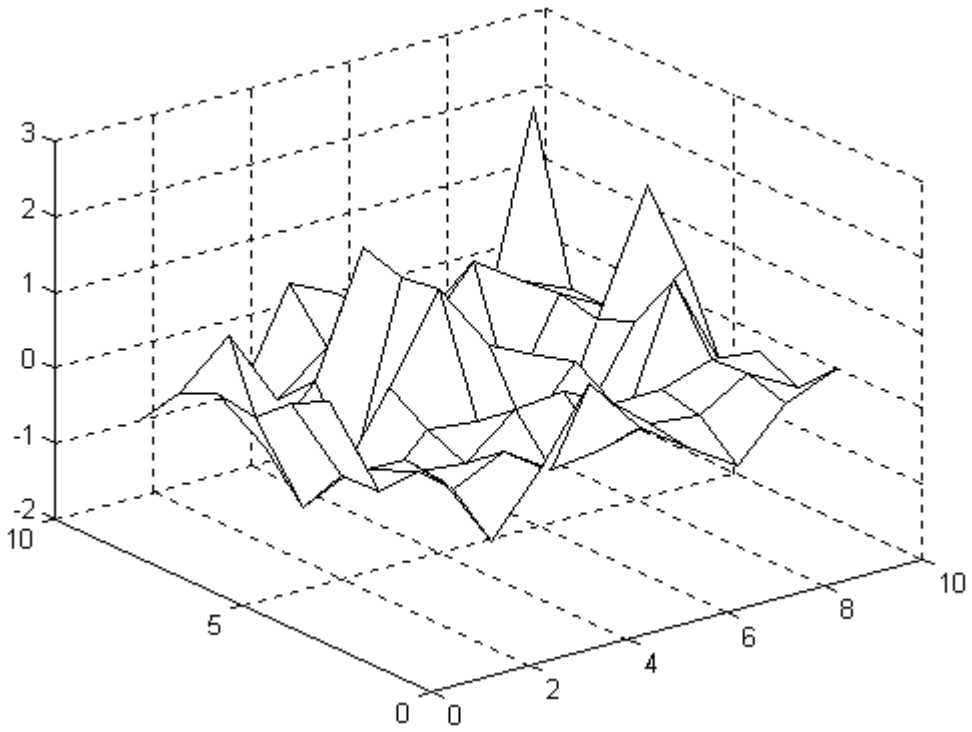


Figura 5.5. Energia das amostras de saída do filtro OU ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "U" não pertencente ao conjunto escolhido.

Apesar da formulação matemática apresentada neste capítulo comprovar que a equação 5.7 provê o filtro OU ótimo, uma questão vem à mente: por que não obter o filtro OU somando-se os 3 filtros discriminativos obtidos isoladamente para cada um dos padrões do conjunto ? As tabelas 5.3 e 5.4 mostram a $DSNR_2$ obtida ao se realizar este procedimento simples de soma, onde a matriz $\mathbf{C_b}$ foi arbitrada igual a 0,0001 **I** (identidade 81x81), visto que $\mathbf{F}_{\text{"A"}}$ é singular.

Ao analisar essas tabelas, nota-se que as amostras centrais da saída, apesar de serem somadas, não garantem uma $DSNR_2$ alta para todos os padrões, já que também estão sendo somadas as amostras laterais, cujas energias são aleatórias, por exemplo, quando se convolui o filtro discriminativo calculado para a letra "A" com o padrão "E" ou com o padrão "O".

Tabela 5.3. $DSNR_2$ obtido via filtro construído via soma de 3 filtros discriminativos.

	$DSNR_2$
"A"	0,1139
"E"	0,0212
"O"	0,0481

Tabela 5.4. $DSNR_2$ obtido via filtro construído via soma de 3 filtros discriminativos.

	$DSNR_2$
"I"	0,0193
"U"	0,0106

5.3. Filtro Discriminativo do Tipo "QUAL"

A seção anterior apresenta um algoritmo para o cálculo de um filtro capaz de discriminar qualquer uma das imagens presentes em um conjunto de padrões de imagem simultaneamente. Este algoritmo foi exemplificado com os padrões de imagem gerados pelas vogais (maiúsculas, *Arial* 8 pt.), onde o filtro discriminava o conjunto { "A", "E", "O" } dos demais padrões de imagem. Devido a esta habilidade de poder discriminar um dos padrões de um conjunto, o filtro recebeu a designação *Filtro Discriminativo do Tipo OU*.

Na verdade, o filtro do tipo OU serve para verificar se uma imagem é ou não pertencente ao conjunto usado para o cálculo do filtro. Portanto, ele não serve para decidir por algum dos padrões do conjunto. Nesta seção, é proposta uma modificação no algoritmo da seção anterior, de forma que se possibilite a decisão por um dos padrões do conjunto. Assim, o novo filtro recebe a designação *Filtro Discriminativo do Tipo QUAL*.

Seja o diagrama da figura 5.6. Nele, observa-se o princípio fundamental da filtragem discriminativa: o filtro Θ calculado (equações 4.11 e 4.28) para um determinado padrão

(no caso, a letra "A"), quando convoluído circularmente com o próprio padrão, oferece um sinal de saída com a energia concentrada na amostra central que, no caso da figura, é a de coordenadas gráficas (5,5).

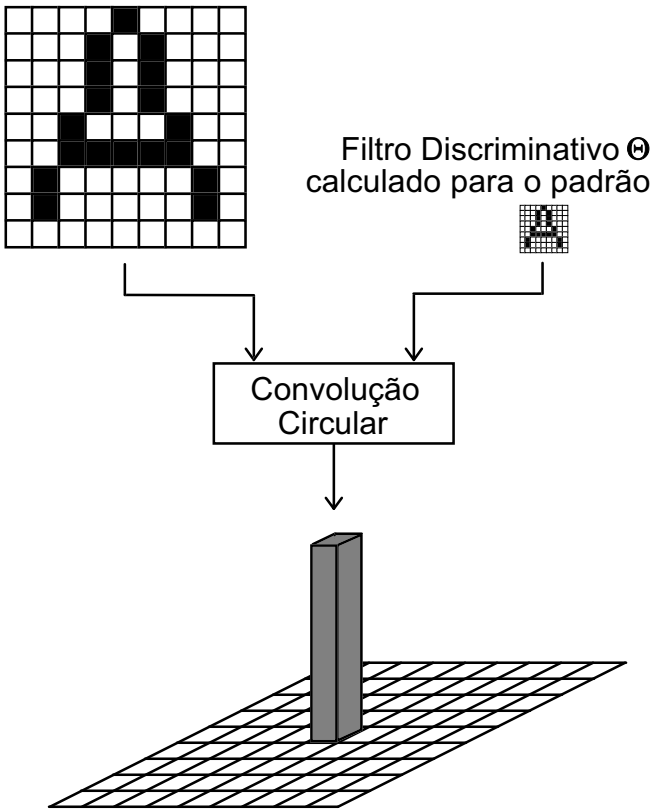


Figura 5.6. Concentração de energia na amostra central.

Já o diagrama da figura 5.7 mostra uma forma de provocar-se um deslocamento na concentração de energia do sinal resultante da convolução circular. No caso, foi tomado um padrão igual ao da letra "A" transladado à direita e abaixo. Assim, a energia do resultado da convolução passa a ser concentrada na amostra de coordenadas gráficas (2,9).

Ora, como há a possibilidade de deslocar-se a amostra com mais energia, surge então a alternativa de calcular-se o filtro discriminativo do tipo OU para padrões cada qual com um deslocamento diferente. Assim, dependendo da posição do máximo de energia na saída, torna-se possível decidir por qual dos padrões de letra do conjunto.

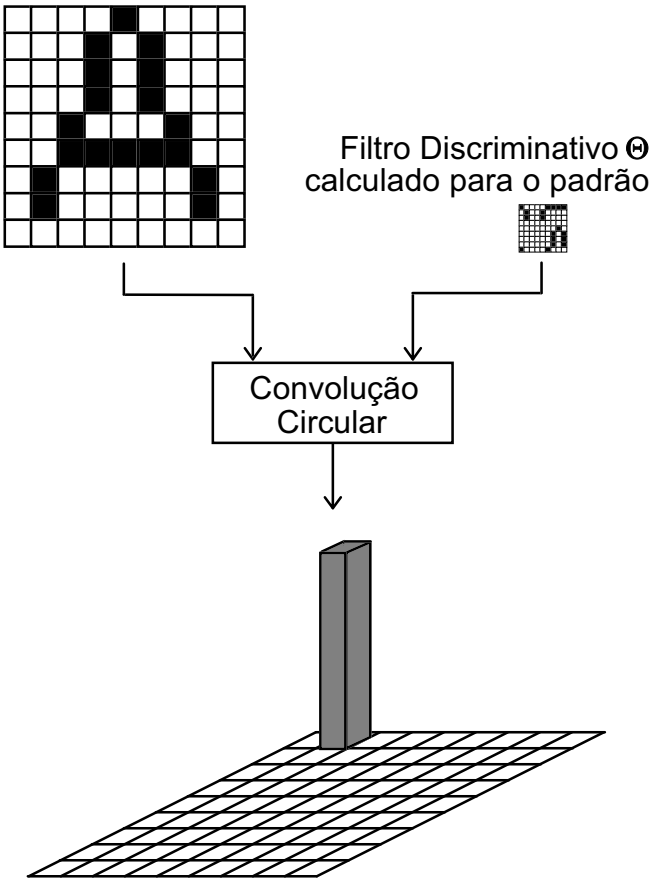


Figura 5.7. Concentração de energia em uma outra amostra.

Como exemplo, foi calculado o filtro discriminativo do tipo QUAL para o mesmo conjunto { "A" , "E" , "O" }, onde os deslocamentos arbitrados estão listados na tabela 5.5. Nota-se que, para os três padrões, conseguiu-se uma boa relação sinal ruído discriminativa (acima de 0,5).

As figuras 5.8 a 5.10 ilustram os sinais de saída após as três convoluções circulares entre o filtro QUAL para o conjunto { "A" , "E" , "O" } e cada um dos três padrões do conjunto. Notam-se nitidamente os picos de energia nas amostras desejadas, o que comprova a correção matemática do filtro proposto.

Tabela 5.5. $DSNR_2$ e centros obtidos através da simulação com o filtro do tipo QUAL.

	Energia em	$DSNR_2$
"A"	2 , 7	0,5888
"E"	8 , 6	0,5447
"O"	1 , 2	0,8972

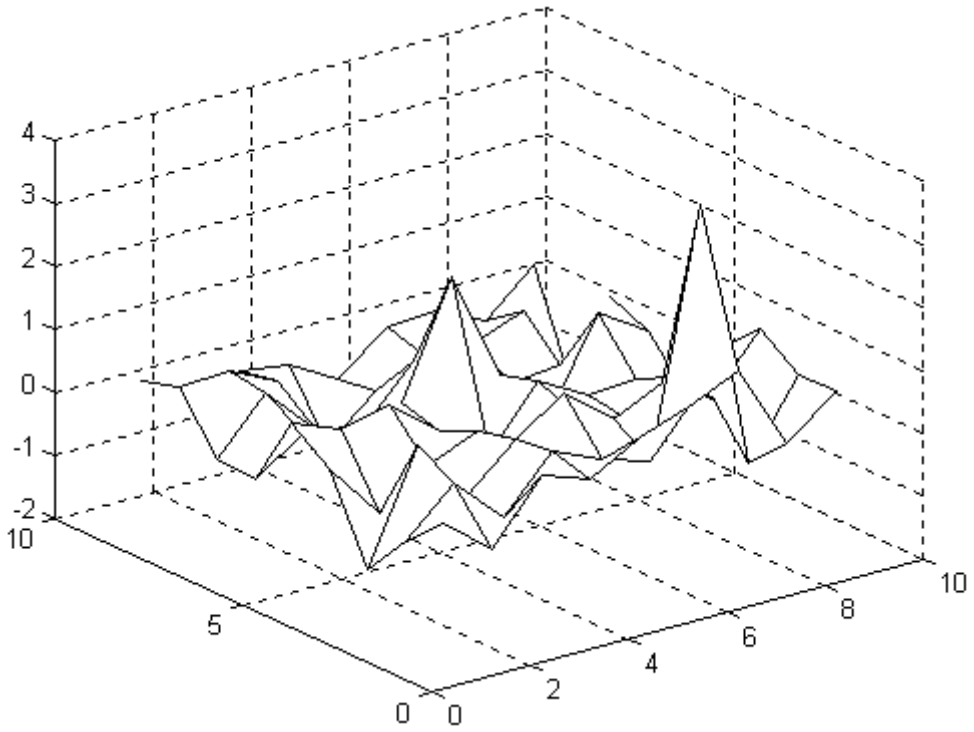


Figura 5.8. Energia das amostras de saída do filtro QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "A".

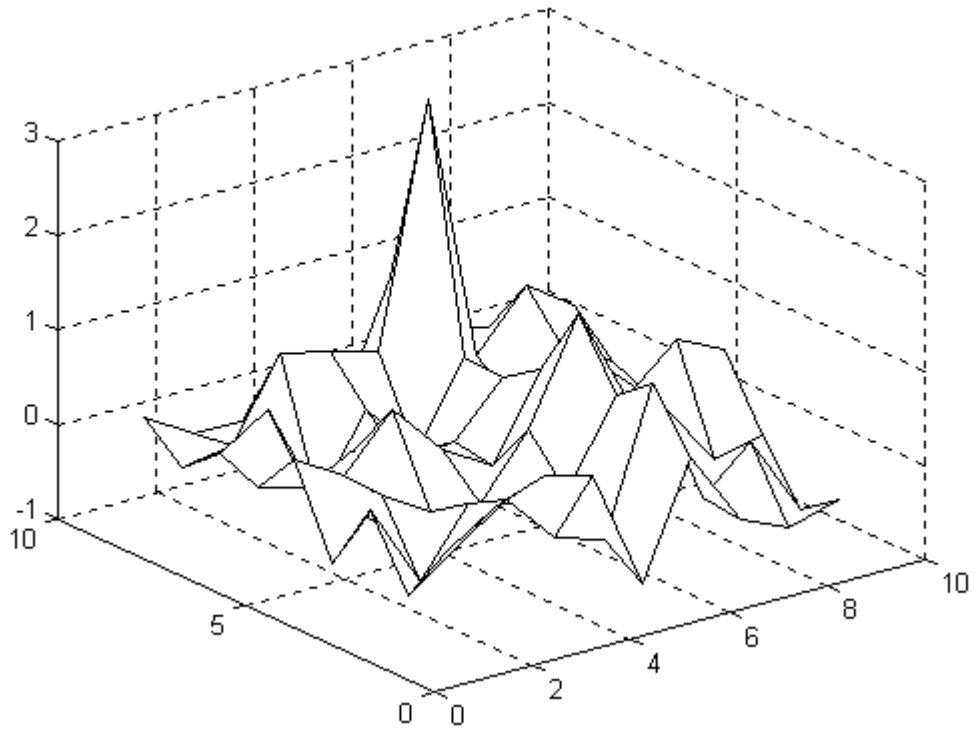


Figura 5.9. Energia das amostras de saída do filtro QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "E".

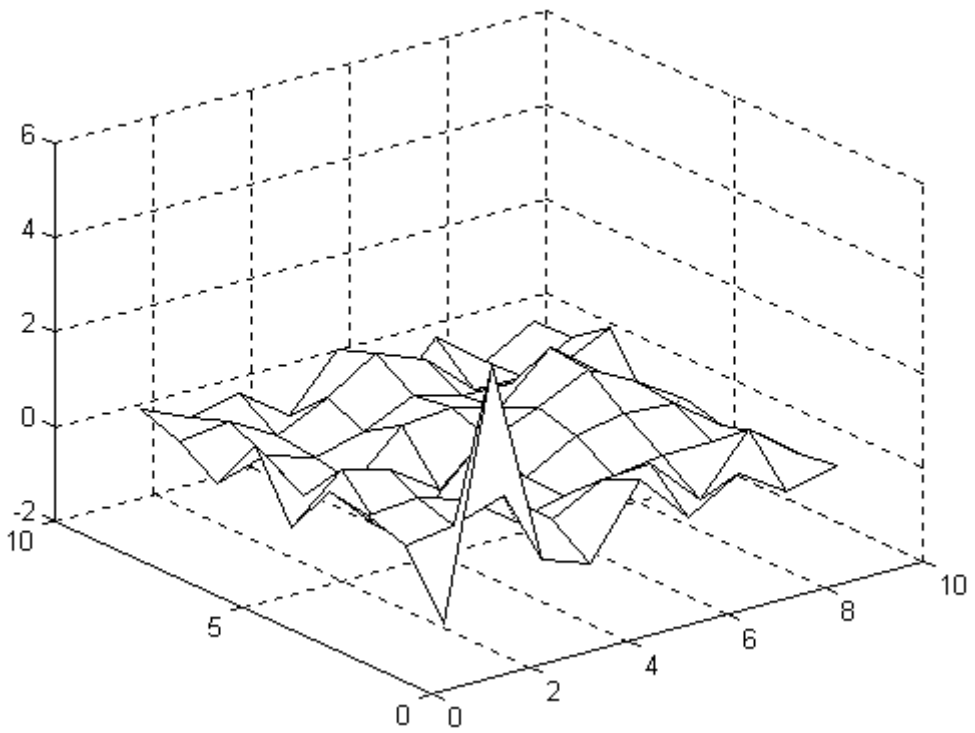


Figura 5.10. Energia das amostras de saída do filtro QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "O".

5.4. Simulações

Nesta seção, testam-se os filtros discriminativos OU e QUAL com o objetivo de detectar as vogais "A", "E" e "O" na imagem da Lena com um texto sobreposto a ela.

A figura 5.11 mostra um desempenho com 100% de detecções corretas e nenhum falso-alarme (filtro OU apresentado neste capítulo). O limiar arbitrado para a detecção foi 0,240. Para obter as localizações dos padrões, tomaram-se blocos 9x9 da imagem em volta de cada pixel e efetuaram-se convoluções circulares (uma por pixel) com o Θ_{OU} 9x9. Depois disto, todas as localizações com $DSNR_2$ maior que 0,240 foram assinaladas.

Figura 5.11. "A", "E" e "O" detectados usando o filtro OU.

As figuras 5.12 a 5.14 mostram simulações com o filtro QUAL. Deve-se notar que todas as letras pertencentes ao conjunto foram corretamente detectadas (o limiar usado foi 0,380). Todas as $DSNR_2$ para a letra "A" foram superiores a 0,4050. Para a letra "E", ultrapassaram os 0,3864. Para a letra "O", nenhuma delas ficou abaixo de 0,4701. Nenhum falso-alarme ocorreu.

Figura 5.12. "A" detectados usando o filtro QUAL.

Figura 5.13. "E" detectados usando o filtro QUAL.

Figura 5.14. "O" detectados usando o filtro QUAL.

5.5. Conjugação dos Filtros "Ou" e "QUAL"

Nada impede que as abordagens apresentadas para os filtros discriminativos dos tipos *OU* e *QUAL* sejam conjugadas. Seja o caso onde o conjunto de padrões tenha as vogais { "A" , "E" , "O" }, só que agora cada uma delas está representada tanto em fonte *Arial 8pt.* quanto em *Times New Roman 8pt.*, totalizando 6 padrões. Neste exemplo, a conjugação dos dois tipos de filtro pode ser feita de acordo com os parâmetros da tabela 5.6, onde se nota o interesse em implementar um *OU* com as duas representações de cada vogal e um *QUAL* em cada um dos pares de representação. A tabela 5.6 contém ainda os valores de $DSNR_2$ obtidos usando todos os $p_i = 1/6$ na equação 5.7.

Tabela 5.6. $DSNR_2$ e centros obtidos via simulação com o filtro do tipo OU/QUAL envolvendo duas fontes para cada vogal.

	Fonte (8 pt.)	Energia em	$DSNR_2$
"A"	*Arial*	2 , 7	0,4035
"E"	*Arial*	8 , 6	0,4322
"O"	*Arial*	1 , 2	0,8040
"A"	*Times New Roman*	2 , 7	0,2615
"E"	*Times New Roman*	8 , 6	0,4515
"O"	*Times New Roman*	1 , 2	0,8040

Os resultados apresentados na tabela 5.6 mostram claramente uma discrepância de valores de $DSNR_2$ que nem sempre é aceitável. O recurso que se tem para aumentar alguns valores muito baixos de $DSNR_2$, como no caso do "A" *Times New Roman* ($DSNR_2 = 0,2615$) é mexer nos parâmetros p_i da equação 5.7, tornando-os diferentes. Sendo assim, utiliza-se o conjunto de parâmetros da tabela 5.7 para um novo conjunto de simulações. Nota-se que o valor 0,2615 subiu para 0,4224, em detrimento da queda da $DSNR_2$ obtida para a letra "O", que passou de 0,8040 para 0,4783. As figuras 5.15 a 5.20 mostram as saídas do filtro discriminativo obtido para cada um dos 6 padrões do conjunto escolhido.

Tabela 5.7. $DSNR_2$ e centros obtidos via simulação com o filtro do tipo OU/QUAL envolvendo duas fontes para cada vogal e variando os p_i.

	Fonte (8 pt.)	p_i (x 5,1)	Energia em	$DSNR_2$
"A"	*Arial*	1,0	2 , 7	0,4839
"E"	*Arial*	0,7	8 , 6	0,4350
"O"	*Arial*	0,7	1 , 2	0,4783
"A"	*Times New Roman*	1,3	2 , 7	0,4224
"E"	*Times New Roman*	0,7	8 , 6	0,5263
"O"	*Times New Roman*	0,7	1 , 2	0,4783

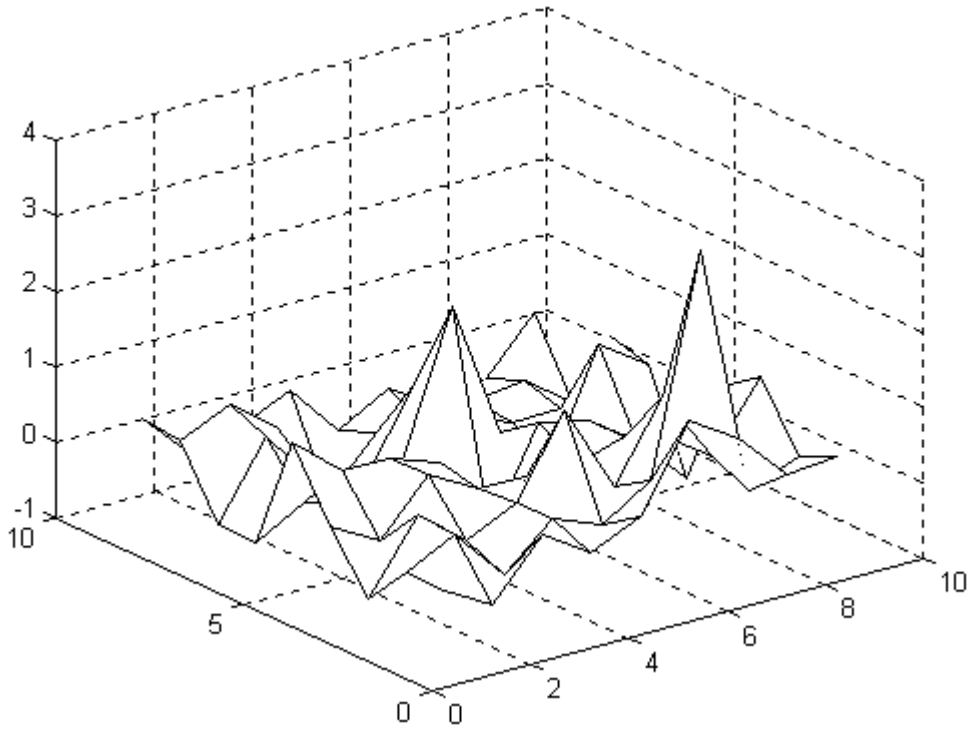


Figura 5.15. Energia das amostras de saída do filtro OU/QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "A" (*Arial*, 8pt.).

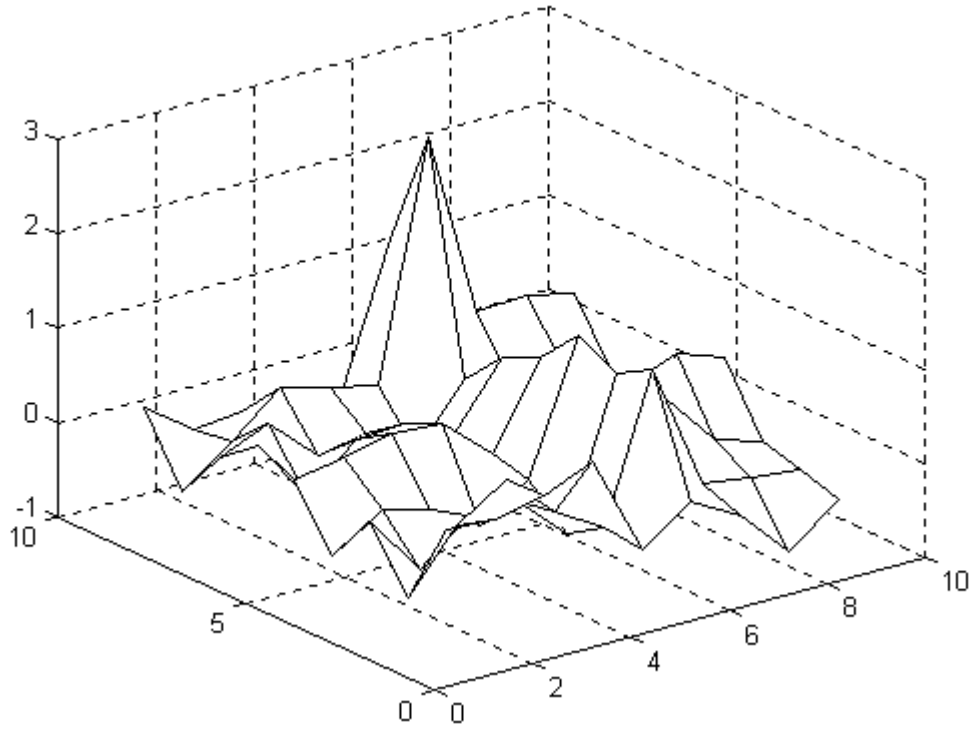


Figura 5.16. Energia das amostras de saída do filtro OU/QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "E" (*Arial*, 8pt.).

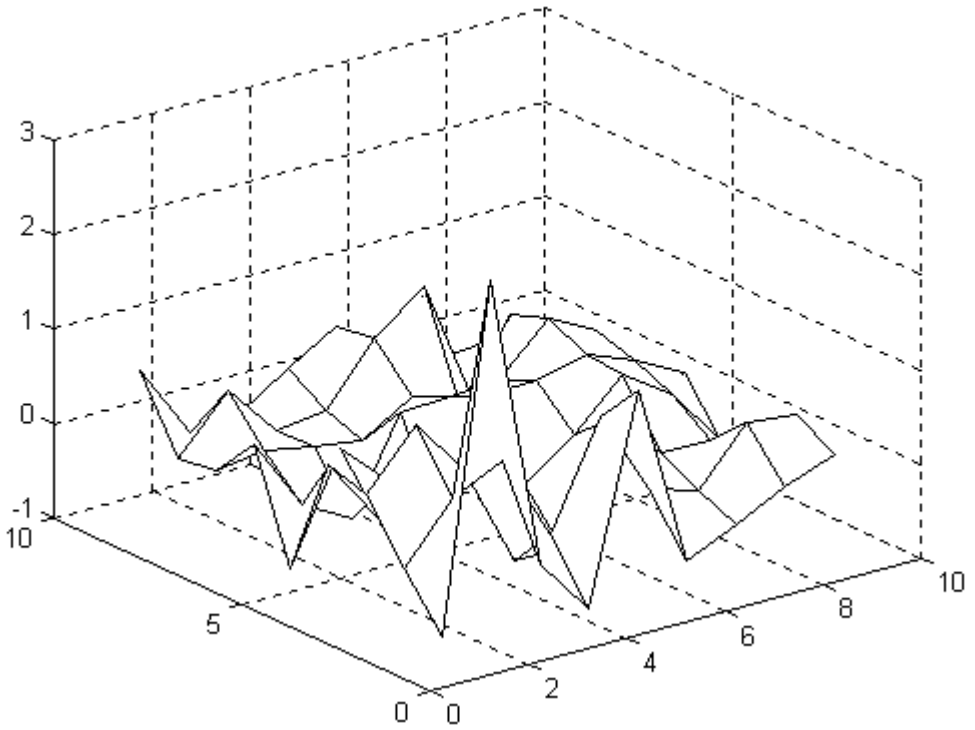


Figura 5.17. Energia das amostras de saída do filtro OU/QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "O" (*Arial*, 8pt.).

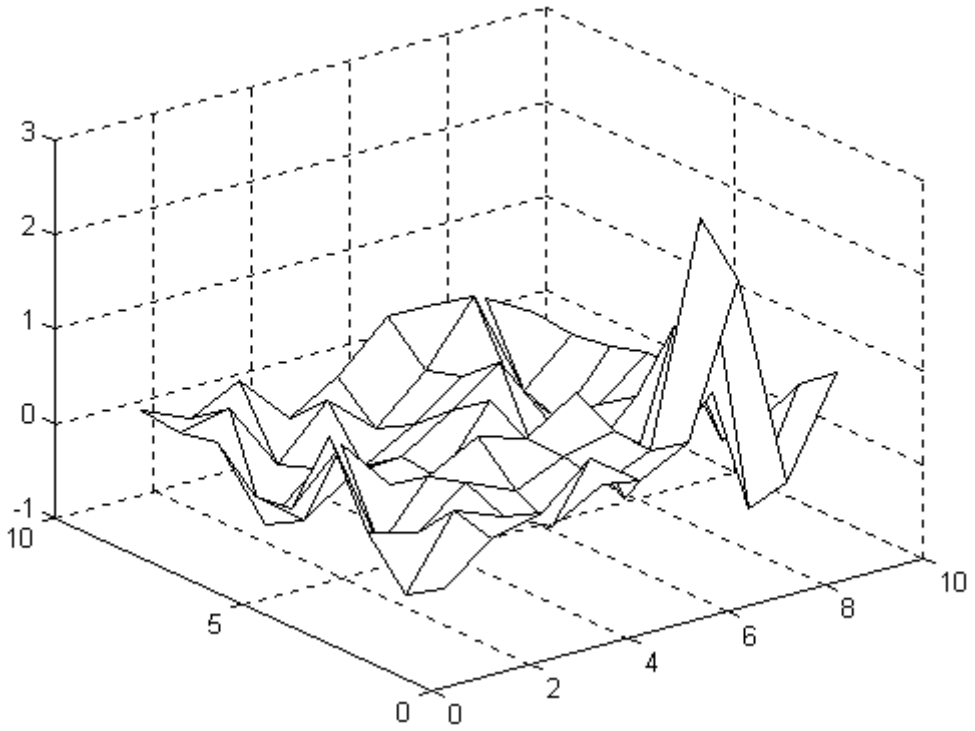


Figura 5.18. Energia das amostras de saída do filtro OU/QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "A" (*Times New Roman*, 8pt.).

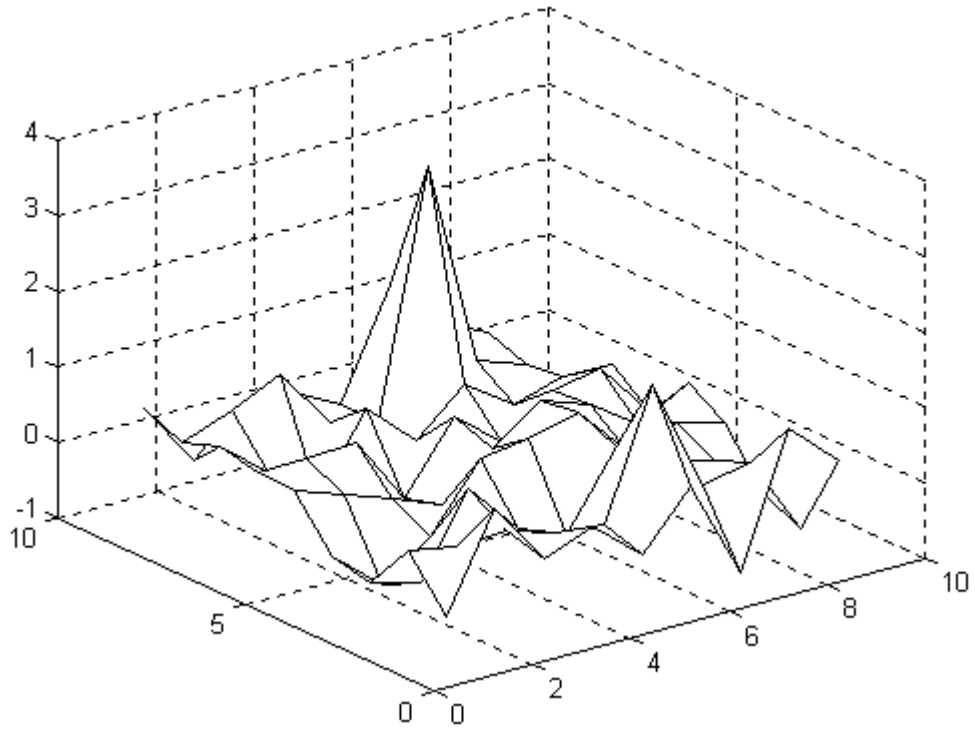


Figura 5.19. Energia das amostras de saída do filtro OU/QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "E" (*Times New Roman*, 8pt.).

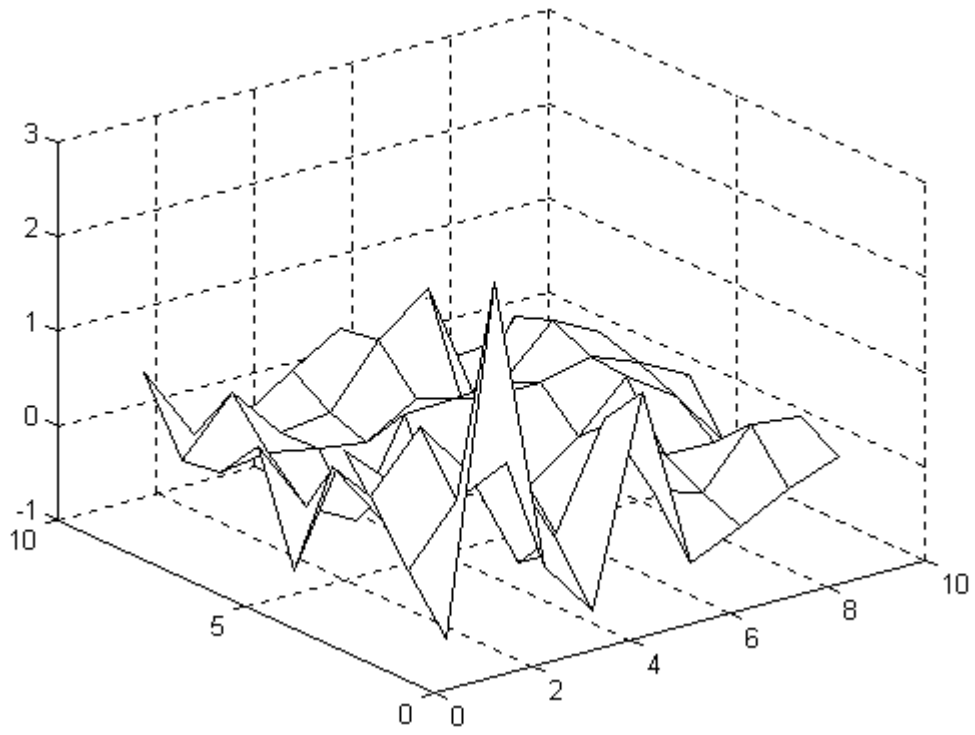


Figura 5.20. Energia das amostras de saída do filtro OU/QUAL ("A", "E" ou "O") convoluído com o padrão "O" (*Times New Roman*, 8pt.).

Para testar a combinação OU/QUAL, tomou-se o filtro com os pesos p_i mostrados na tabela 5.7 e a imagem da Lena com 4 frases escritas sobre ela (2 em *Arial* e 2 em *Times New Roman*). Numa primeira simulação, arbitrou-se um limiar de detecção único para a $DSNR_2$ igual a 0,3322 (menor valor de forma que não ocorra qualquer falsa-detecção) para todas as 3 letras do conjunto. Com isso, 1 ocorrência da letra "E" *Times New* Roman, todas as letras "E" *Arial* e 2 ocorrências da letra "O" seriam perdidas.

Para resolver o problema da letra "E" *Arial*, primeiramente observou-se que esta letra é muito estreita (largura igual a 5 pixels) e que uma janela 9x9 alcança as letras laterais da frase. Sendo assim, fica imprescindível um algoritmo que separe a letra da frase. Para o caso específico do "E", realizou-se um procedimento simples de repetir a segunda coluna da janela no lugar da primeira e repetir a penúltima no lugar da última. Com isso, todas as letras "E" passaram a ser detectadas, restando apenas as duas perdas de detecção da letra "O".

A simples redução do limiar para 0,2918 ($DSNR_2$ do pior caso dos "O" perdidos) acarretaria em 7 detecções falsas ou apenas 3 (caso se use o procedimento especial para a letra "E" citado no parágrafo anterior). Porém, dois critérios alternativos para a detecção foram investigados, oferecendo:

- uso de um limiar específico somente para a detecção dos "O" igual a 0,2600 $\Rightarrow$ possibilita 100 % de detecções corretas sem falsas detecções (a menos da questão sobre a letra "E");
- descarte da detecção caso, num raio de 8 pixels, algum outro padrão tenha sido detectado com uma $DSNR_2$ maior $\Rightarrow$ elimina todas as falsas detecções (independentemente do uso do procedimento para a letra "E").

As figuras 5.21 a 5.23 mostram os resultados das detecções das letras sobre a Lena, arbitrando-se um limiar de 0,3322 para as letras "A" e "E" e um limiar 0,2600 para a letra "O".

Figura 5.21. "A" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,3322).

Figura 5.22. "E" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,3322).

Figura 5.23. "O" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,2600).

Já as figuras 5.24 e 5.25 mostram as falsas detecções (além das detecções corretas) caso fosse arbitrado o limiar 0,2918 para todas as letras e não fosse adotado o procedimento especial para a letra "E". Deve-se notar que, em 3 incidências de "A" *Times New Roman*, a letra "A" seria detectada duas vezes. Outro ponto relevante é que, por 4 vezes, a letra "A" sem os pixels inferiores e deslocada (1 pixel à esquerda e 3 pixels abaixo - vide tabela 5.6) teria energia o suficiente para acusar o padrão "E". Isto é devido à distância circular entre as coordenadas *(2,7)* e *(8,6)* numa janela 9x9 e ao fato de que deslocar a letra eqüivale a reposicionar o pico de energia. No caso, o reposicionamento do pico de energia do "A" foi confundido com um pico de energia no padrão "E".

Figura 5.24. "A" detectados, incluindo falsas detecções, usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,2918).

Figura 5.25. "E" detectados, incluindo falsas detecções, usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,2918). Notam-se as perdas de todas as letras "E" *Arial*.

A tabela 5.8 lista os valores de $DSNR_2$ encontrados para os padrões detectados nestas simulações. Já a tabela 5.9 lista os valores de $DSNR_2$ para o caso das falsas detecções.

Tabela 5.8. $DSNR_2$ dos padrões detectados encontrados nas simulações com o filtro OU/QUAL, começando de cima para baixo, da esquerda para direita. A primeira coluna de valores se refere ao procedimento normal de varredura, ou seja, tomando-se uma janela 9x9 em volta de cada pixel. Já a coluna seguinte mostra os valores obtidos para o padrão "E" caso se adote o procedimento especial de substituir as primeira e última colunas de cada janela 9x9 pela segunda e penúltima colunas. A terceira coluna de valores repete os valores da tabela 5.7. Em fundo cinza, estão assinalados os casos para os quais a letra seria perdida caso o limiar fosse 0,3322.

Letra	Fonte	$DSNR_2$	$DSNR_2$(proc. "E")	$DSNR_2$ (sem ruído)
"A"	*Times New Roman*	0,38663	-	0,4224
"A"	*Times New Roman*	0,41053	-	0,4224
"A"	*Arial*	0,38983	-	0,4839
"A"	*Arial*	0,42933	-	0,4839
"A"	*Times New Roman*	0,39144	-	0,4224
"A"	*Times New Roman*	0,42399	-	0,4224
"A"	*Arial*	0,48294	-	0,4839
"A"	*Arial*	0,40618	-	0,4839
"E"	*Times New Roman*	0,46010	0,55314	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,46278	0,53698	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,32466	0,54845	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,46768	0,45605	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,33925	0,54118	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,49277	0,56514	0,5263
"E"	*Arial*	0,16939	0,42888	0,4350
"E"	*Arial*	0,12766	0,40055	0,4350
"E"	*Arial*	0,23230	0,45259	0,4350
"E"	*Arial*	0,19282	0,42686	0,4350
"E"	*Arial*	0,24959	0,43096	0,4350
"E"	*Arial*	0,19428	0,42011	0,4350
"E"	*Times New Roman*	0,35783	0,41450	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,45784	0,58337	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,34222	0,58336	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,49257	0,51732	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,32945	0,44170	0,5263
"E"	*Times New Roman*	0,46715	0,53969	0,5263
"E"	*Arial*	0,16212	0,43927	0,4350
"E"	*Arial*	0,13506	0,42869	0,4350
"E"	*Arial*	0,19480	0,33648	0,4350
"E"	*Arial*	0,19582	0,43734	0,4350
"E"	*Arial*	0,22913	0,40031	0,4350
"E"	*Arial*	0,18890	0,40534	0,4350
"O"	*Times New Roman*	0,38646	-	0,4783
"O"	*Times New Roman*	0,50478	-	0,4783
"O"	*Arial*	0,50383	-	0,4783
"O"	*Arial*	0,49006	-	0,4783
"O"	*Times New Roman*	0,30433	-	0,4783
"O"	*Times New Roman*	0,46799	-	0,4783
"O"	*Arial*	0,29180	-	0,4783
"O"	*Arial*	0,34495	-	0,4783

Tabela 5.9. $DSNR_2$ dos falsos padrões detectados, começando de cima para baixo, da esquerda para direita, caso o limiar fosse único e igual a 0,2918.

Falsa detecção de	$DSNR_2$
"A"	0,30980
"A"	0,31401
"A"	0,33215
"E"	0,30044
"E"	0,31581
"E"	0,32384
"E"	0,31582

Para testar novamente o filtro OU/QUAL do conjunto de padrões { "A", "E", "O" }, são agora sintetizadas imagens usando 6 frases escritas com um nível de cinza aproximadamente no meio da escala entre 0 e 255, sobre um fundo que varia progressivamente do preto (nível 0) para o branco (nível 255) e vice-versa. Como pode ser observado nas figuras 5.26 a 5.28, ao percorrer o filtro OU/QUAL pela imagem, houve 100 % de detecções corretas e apenas uma falsa-detecção da letra "O". Para estas simulações, foram usados os seguintes limiares: 0,3322, para as letras "A" e "E", e 0,2918, para a letra "O". Para detectar a letra "E", foi usado o procedimento especial de eliminação das primeira e última colunas explicado nas simulações com a Lena. A tabela 5.10 lista as $DSNR_2$ obtidas nas detecções.

As figuras 5.29 a 5.31 mostram novos resultados com a Lena, sendo que, desta vez, foram escritas duas frases em cinza sobre ela. Novamente, houve 100 % de detecções corretas. Os limiares adotados foram 0,2700, para as letras "E" e "O", e 0,2860, para a letra "A". Deve-se notar que, em uma ocorrência da letra "A", houve duas detecções. Isto é explicado ao se observarem, na figura 5.18, as duas amostras com energia alta geradas na saída do filtro quando a entrada é a letra "A" *Times New Roman*. Os valores de $DSNR_2$ obtidos nas detecções estão listados na tabela 5.11.

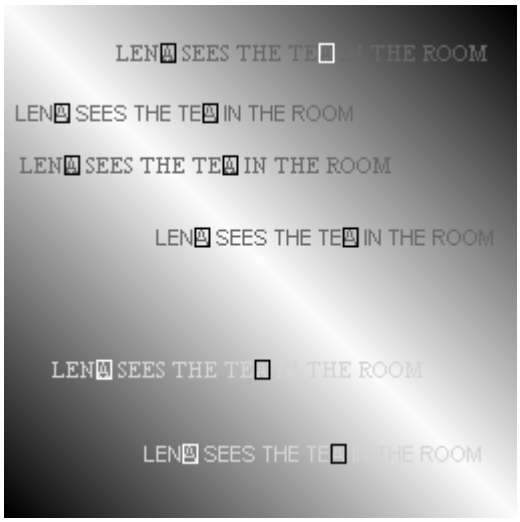


Figura 5.26. "A" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,3322).

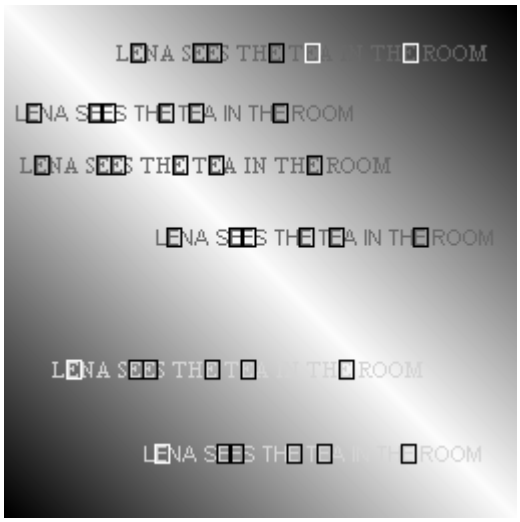


Figura 5.27. "E" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,3322).

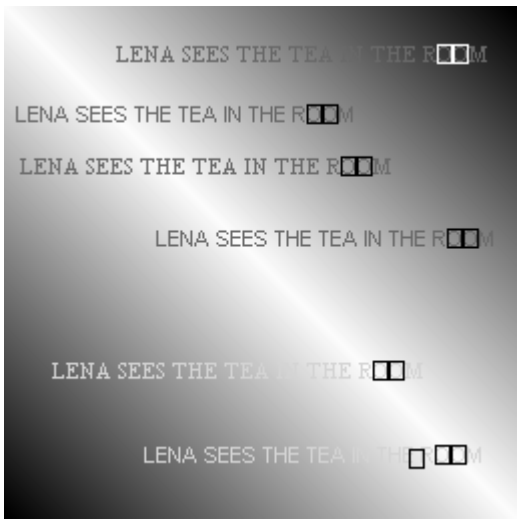


Figura 5.28. "O" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,2918).

Figura 5.29. "A" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,2860).

Figura 5.30. "E" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,2700).

Figura 5.31. "O" detectados usando o filtro OU/QUAL (limiar 0,2700).

Tabela 5.10. $DSNR_2$ dos padrões detectados encontrados nas simulações com o filtro OU/QUAL, começando de cima para baixo, da esquerda para direita (vide figuras 5.26 a 5.28).

Letra	$DSNR_2$ (detecções)					
"A"	0,44892	0,37096	0,49023	0,46926	0,39475	0,43836
	0,48606	0,47146	0,44601	0,37596	0,46957	0,35479
"E"	0,55768	0,56043	0,55974	0,54841	0,49984	0,50458
	0,43504	0,42827	0,44303	0,43936	0,43635	0,41934
	0,54406	0,55053	0,56017	0,56029	0,56075	0,56104
	0,43055	0,44527	0,43952	0,43543	0,42722	0,43374
	0,55733	0,55826	0,55642	0,54110	0,50966	0,50699
	0,43754	0,43108	0,43075	0,41019	0,38548	0,34699
"O"	0,46664	0,53198	0,38170	0,36707	0,33763	0,37719
	0,37000	0,33106	0,29489	0,31400	0,56813	0,40012
"O"			0,47252	(falsa-detecção)		

Tabela 5.11. $DSNR_2$ dos padrões detectados encontrados nas simulações com o filtro OU/QUAL, começando de cima para baixo, da esquerda para direita (vide figuras 5.29 a 5.31).

Letra	$DSNR_2$ (detecções)			
"A"	0,32490	0,28894	0,50417	0,47477
"E"	0,52814	0,55268	0,52583	0,43334
	0,30456	0,30622	0,41725	0,40240
	0,27895	0,44290	0,43308	0,43219
"O"	0,42906	0,39193	0,50234	0,39850

Para finalizar este capítulo, resta comentar que é possível que algum outro padrão não pertencente ao conjunto escolhido ofereça uma $DSNR_2$ maior quando convoluída com o filtro $\Theta_{OU/QUAL}$ calculado para o conjunto. A prova para este fato é simples, pois basta observar que, de acordo com a abordagem alternativa apresentada no Capítulo 4, um padrão γ tal que $\mathbf{F}_\gamma = \mathbf{A}^{-1}$, onde $\mathbf{A}$ é o operador obtido pela equação 5.7, oferece, na ausência de ruído, uma $DSNR_2$ infinita. Seja o exemplo do conjunto { "A", "E", "O" }, representado tanto em *Times New Roman*, quanto em *Arial*. Neste caso, o padrão γ é o sinal bidimensional mostrado na figura 5.32, que nada morfologicamente se parece com quaisquer uma das letras do conjunto. A figura 5.33 representa o padrão γ sob a forma de uma imagem 9x9 em 256 níveis de cinza.

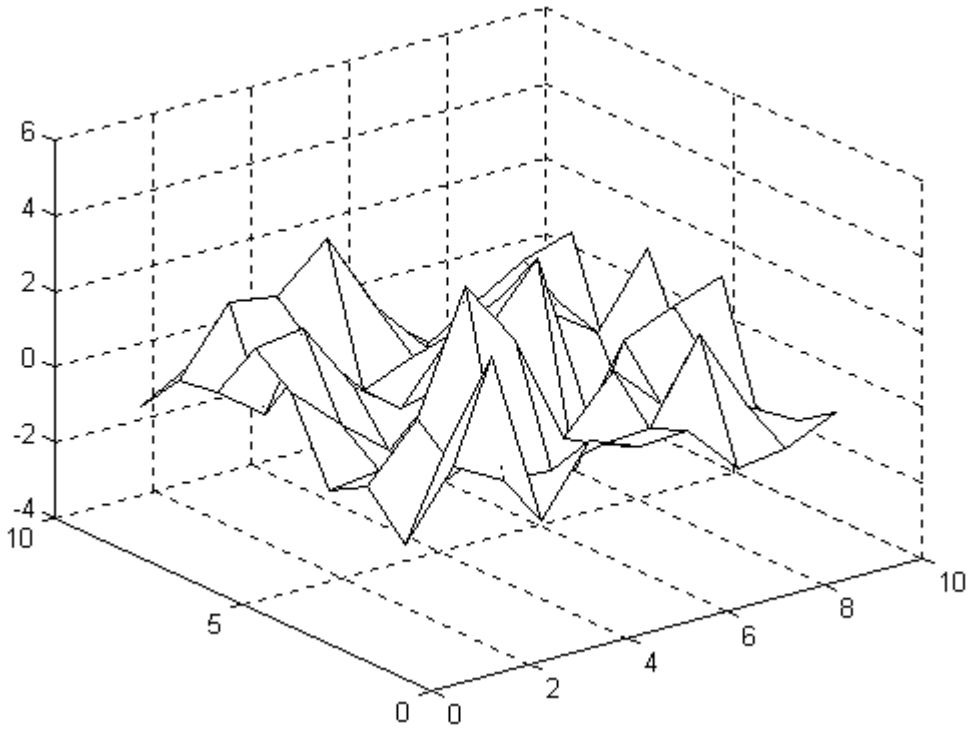


Figura 5.32. Padrão γ para o exemplo das vogais { "A", "E", "O" } representadas por duas fontes.

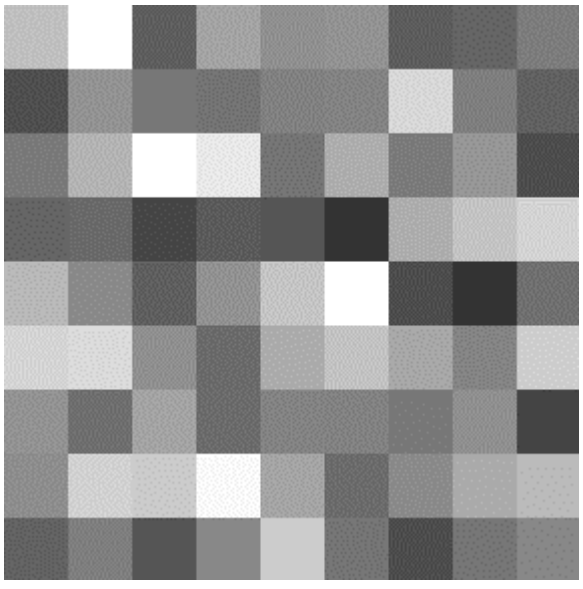


Figura 5.33. Padrão γ representado como uma imagem em tons de cinza.

5.6. Conclusões

Neste capítulo, foi apresentado um novo método, estendendo o problema de restauração do impulso para o caso de detecção de múltiplos padrões. Foram propostas soluções analíticas para dois tipos de filtros discriminativos: o OU e o QUAL. Enquanto o filtro OU pode decidir apenas se a imagem pertence ou não a um conjunto de padrões, o filtro QUAL pode dizer qual dos padrões é a imagem de entrada.

Os resultados obtidos indicam que o método de discriminação múltipla proposto é eficiente e, por ser de solução analítica, aparenta ser uma viável alternativa para classificadores não-lineares.

No próximo capítulo, será feito um estudo envolvendo o conceito de discriminação cruzada, que será definido como uma medida de grau de similaridade entre dois padrões. O objetivo é permitir o uso de filtros do tipo QUAL mesmo quando os padrões do conjunto sejam muito parecidos.

6. Discriminação Cruzada

No Capítulo 5, foi proposto o *Filtro Discriminativo do Tipo QUAL*, que tem a habilidade de decidir por um determinado padrão pertencente a um conjunto, já que, dependendo do padrão de entrada, este filtro desloca a amostra de saída mais energética para uma posição que depende do padrão de entrada.

Quando se vislumbram sistemas mais sofisticados, que englobam conjuntos com muitos padrões, é possível que existam padrões morfologicamente parecidos, como nos dígitos "3" e "8", mas que devam permitir que cada um deles ofereça na saída um sinal com a energia concentrada numa amostra localizada em posições diferentes. Isto parece ser um obstáculo computacional de relativa complexidade.

O objetivo deste capítulo é definir o conceito de discriminação cruzada, ou seja, o quanto um padrão é parecido com outro, e oferecer um algoritmo que visa a reduzir os efeitos da discriminação cruzada em filtros do tipo QUAL.

6.1. Uma Aplicação no Reconhecimento dos Dígitos Numéricos

O algoritmo para detecção de múltiplos padrões usando filtragem discriminativa, apresentado no capítulo anterior, será agora utilizado em um sistema de reconhecimento dos dígitos numéricos. Os padrões deste sistema foram construídos a partir de seus respectivos caracteres em fonte *Arial* - 8 pt. que, após passarem por um interpolador simples, geraram cada um deles padrões 27 x 27, conforme ilustrado na figura 6.1. A interpolação foi feita para que houvesse na janela uma separação suficiente dos impulsos relativos aos 10 padrões.

Para o cálculo do filtro Θ do tipo QUAL, todos os pesos p_i da equação 5.7 foram arbitrados iguais a 1, de forma a não privilegiar qualquer dos padrões. As coordenadas dos centros escolhidos para cada padrão estão colocadas na tabela 6.1. Para testar o sistema, o filtro Θ foi convoluído circularmente com cada um dos dígitos, oferecendo, como resultados, o conjunto de sinais bidimensionais mostrado na figura 6.2, que serão analisados mais adiante.

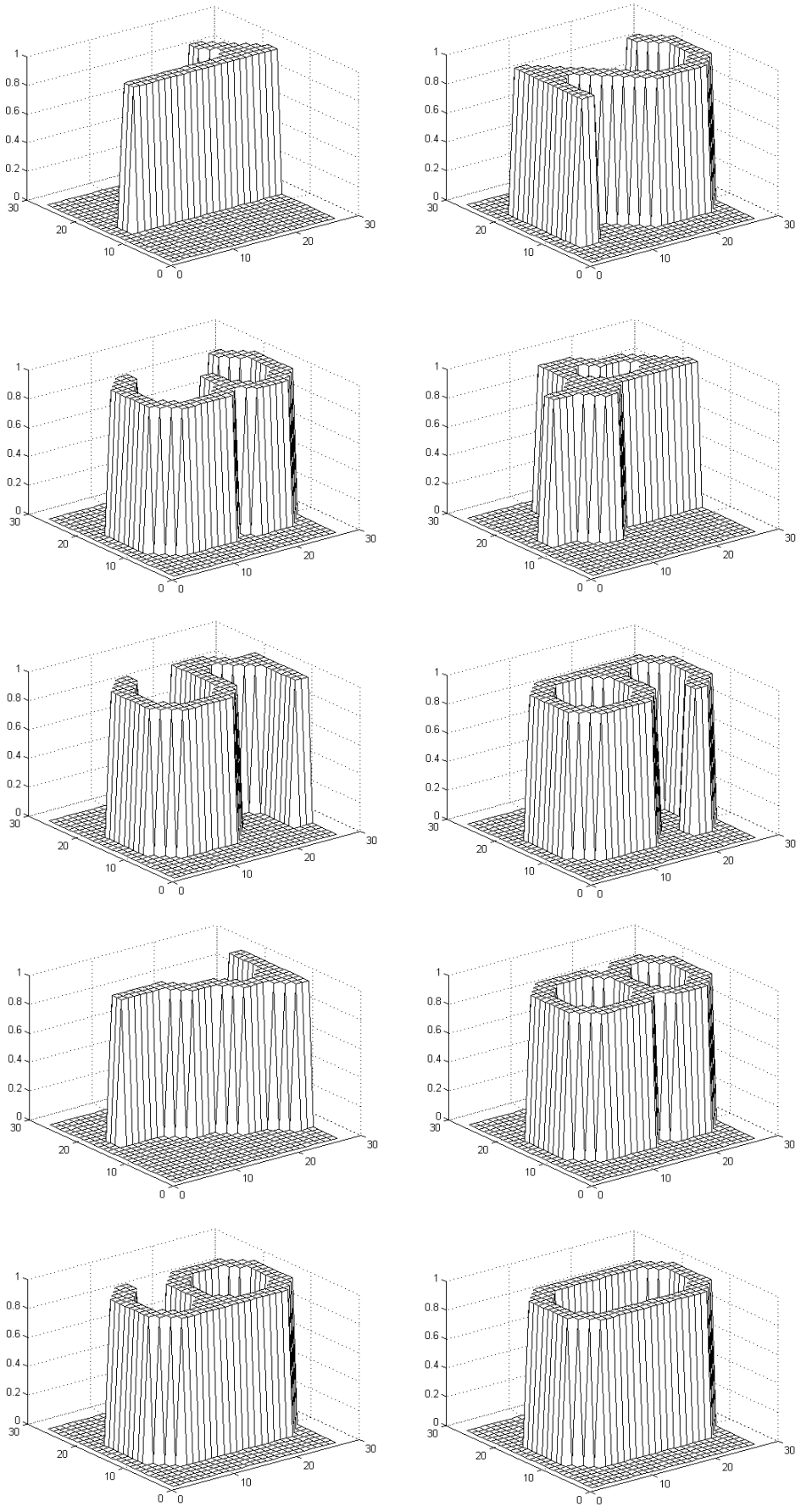


Figura 6.1. Padrões de Dígitos Numéricos 27x27.

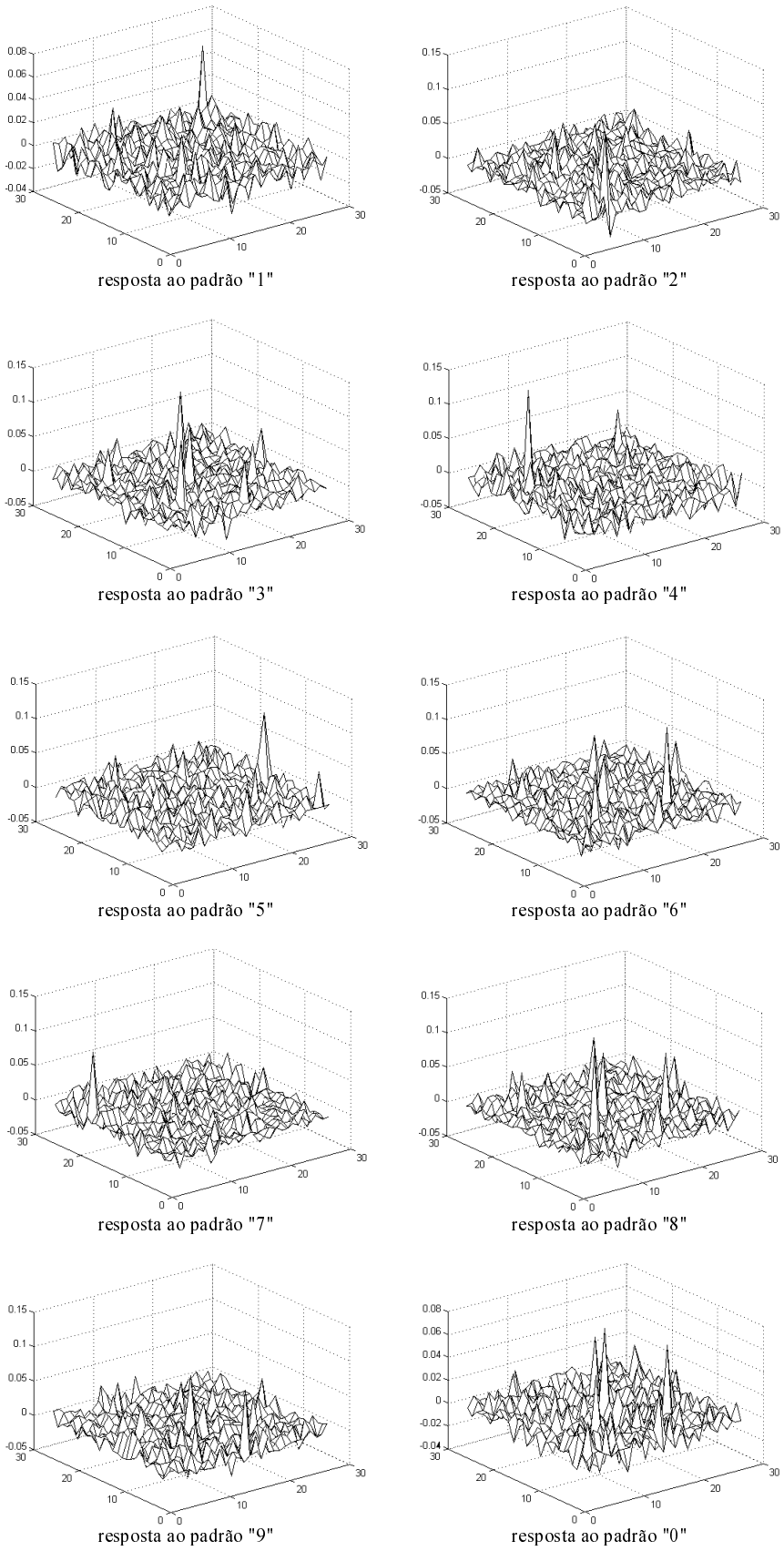


Figura 6.2. Filtro QUAL calculado para os 10 padrões de dígitos convoluído circularmente com cada um dos padrões originais.

Tabela 6.1. Coordenadas dos centros escolhidos para cada padrão.

Entrada do filtro QUAL	Energia em
padrão "1"	23 , 23
padrão "2"	2 , 5
padrão "3"	20 , 17
padrão "4"	23 , 8
padrão "5"	14 , 26
padrão "6"	8 , 20
padrão "7"	20 , 2
padrão "8"	8 , 8
padrão "9"	2 , 14
padrão "0"	14 , 14

Para analisar os resultados da figura 6.2, define-se inicialmente a relação sinal-ruído discriminativa cruzada, que informa o quanto um padrão α, quando convoluído circularmente com o filtro QUAL, energiza a amostra central referente a um segundo padrão β:

$$\text{DSNR}_2 \text{ cruzada } (\alpha,\beta) = \frac{c_{\beta i,\, \beta j}{}^2}{\left(\sum_m \sum_n c_{m,n}{}^2\right) - c_{\beta i,\, \beta j}{}^2} \quad , \tag{6.1}$$

onde βi e βj são as coordenadas do máximo de energia referente ao padrão β e

$$\mathbf{C} = \{ c_{m,n} \} = \boldsymbol{\alpha} * \boldsymbol{\Theta}_{QUAL} \quad . \tag{6.2}$$

A tabela 6.2 mostra os valores cruzados de $DSNR_2$ para o exemplo dos 10 dígitos numéricos. Nota-se, observando os valores destacados em negrito, que, para o caso de um detetor simples que decida pelo padrão associado à amostra de saída com maior energia, o algoritmo proposto no capítulo anterior oferece uma taxa de acertos igual a 100 %, comprovando a correção matemática do método.

Tabela 6.2. $DSNR_2$ cruzadas resultantes para cada padrão se o filtro QUAL for convoluído com o padrão.

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,0938**	0,0035	0,0073	0,0230	0,0033	0,0013	0,0028	0,0287	0,0004	0,0011
padrão "2"	0,0000	**0,1266**	0,0169	0,0027	0,0000	0,0007	0,0006	0,0226	0,0012	0,0338
padrão "3"	0,0003	0,0062	**0,1127**	0,0003	0,0237	0,0336	0,0010	*0,0854*	*0,0448*	*0,0627*
padrão "4"	0,0308	0,0006	0,0096	**0,1497**	0,0025	0,0006	0,0099	0,0065	0,0016	0,0022
padrão "5"	0,0045	0,0017	0,0177	0,0217	**0,0910**	0,0200	0,0009	0,0066	0,0218	0,0003
padrão "6"	0,0001	0,0011	*0,0460*	0,0065	0,0318	**0,1281**	0,0004	*0,0542*	0,0257	*0,0390*
padrão "7"	0,0002	0,0008	0,0003	0,0005	0,0136	0,0027	**0,1082**	0,0002	0,0107	0,0005
padrão "8"	0,0013	0,0063	*0,0623*	0,0037	0,0248	*0,0743*	0,0006	**0,1466**	0,0279	*0,0679*
padrão "9"	0,0000	0,0038	0,0149	0,0092	0,0171	0,0207	0,0001	0,0142	**0,0824**	*0,0544*
padrão "0"	0,0006	0,0103	*0,0408*	0,0011	0,0068	*0,0610*	0,0010	*0,0426*	0,0258	**0,0877**

É claro que o ideal seria se não houvesse discriminação cruzada, ou seja, um dado padrão só respondesse com energia forte na sua amostra central. Porém, observando os dados assinalados em itálico e sublinhados na tabela 6.2, isto nem sempre acontesse, como por exemplo nos casos com a entrada do filtro sendo o padrão "3", "6", "8", "9" ou "0".

A redução da $DSNR_2$ cruzada não é trivial, devido à semelhança morfológica entre alguns padrões, como o "8" e o "3". Contudo, a próxima seção apresenta um procedimento que visa a reduzi-la.

6.2. Método para Redução da $DSNR_2$ Cruzada

Nesta seção, está proposto um método alternativo que visa a reduzir a $DSNR_2$ cruzada. O método pretende atuar em valores específicos e não em todas as possíveis $DSNR_2$ cruzadas.

Para iniciar a busca por esta solução alternativa, é feita uma análise dos diagramas mostrados na figura 6.3. Supõe-se inicialmente que se deseja estimar o vetor aleatório $\boldsymbol{\delta}$ (fig. 6.3-a), que tem uma amostra igual a 1,0000, onde o padrão α deva ser detectado, e amostras nulas, nas outras posições. Utilizando o estimador linear do filtro QUAL proposto no Capítulo 5, nota-se que o vetor $\hat{\boldsymbol{\delta}}$ possui uma forma aproximada àquela apresentada na figura 6.3-b, onde está ressaltada uma amostra principal com cerca de 10 % do valor unitário (valor este bem realístico e de acordo com os valores de $DSNR_2$ listados na tabela 6.2, para o exemplo dos 10 dígitos). Nota-se que aproximadamente 90 % da energia do impulso a ser restaurado foram diluídos pelas amostras laterais (vide fig. 6.3-d). Agora toma-se o caso onde um padrão $\beta \neq \alpha$ seja circularmente convoluído com o filtro estimador Θ_{QUAL}, resultando numa discriminação cruzada como a da figura 6.3-c, onde ainda não foi atribuído um deslocamento para amostra de maior energia de β (no caso hipotético igual a 0,0500). Neste ponto, já é possível exprimir dois indicadores iniciais desejados para um método de redução da $DSNR_2$ cruzada:

- $(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\alpha)$, vide fig. 6.3-e, que, quanto menor for seu módulo, maior será a $DSNR_2$ para o padrão α e menor será o erro de estimação $\boldsymbol{\delta}$;
- $(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\beta)$, vide fig. 6.3-f, que, quanto maior for seu módulo, menor será a $DSNR_2$ cruzada(α,β).

De forma a ponderar o segundo termo em relação ao primeiro, usa-se a constante K para multiplicar $\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\beta$ (fig. 6.3-g), chegando-se finalmente ao vetor $(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\alpha) - K\,(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\beta)$ (fig.6.3-h), cuja norma se deseja minimizar. Uma restrição importante é que a amostra principal do segundo termo não tenha valor absoluto maior do que a do primeiro. Para isto, no exemplo gráfico, o valor máximo de K deve ser 0,9474, de forma que minimizar a norma de $(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\alpha) - K\,(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\beta)$ seja equivalente a minimizar a norma de $(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\alpha)$ e maximizar a norma de $K\,(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}|\beta)$.

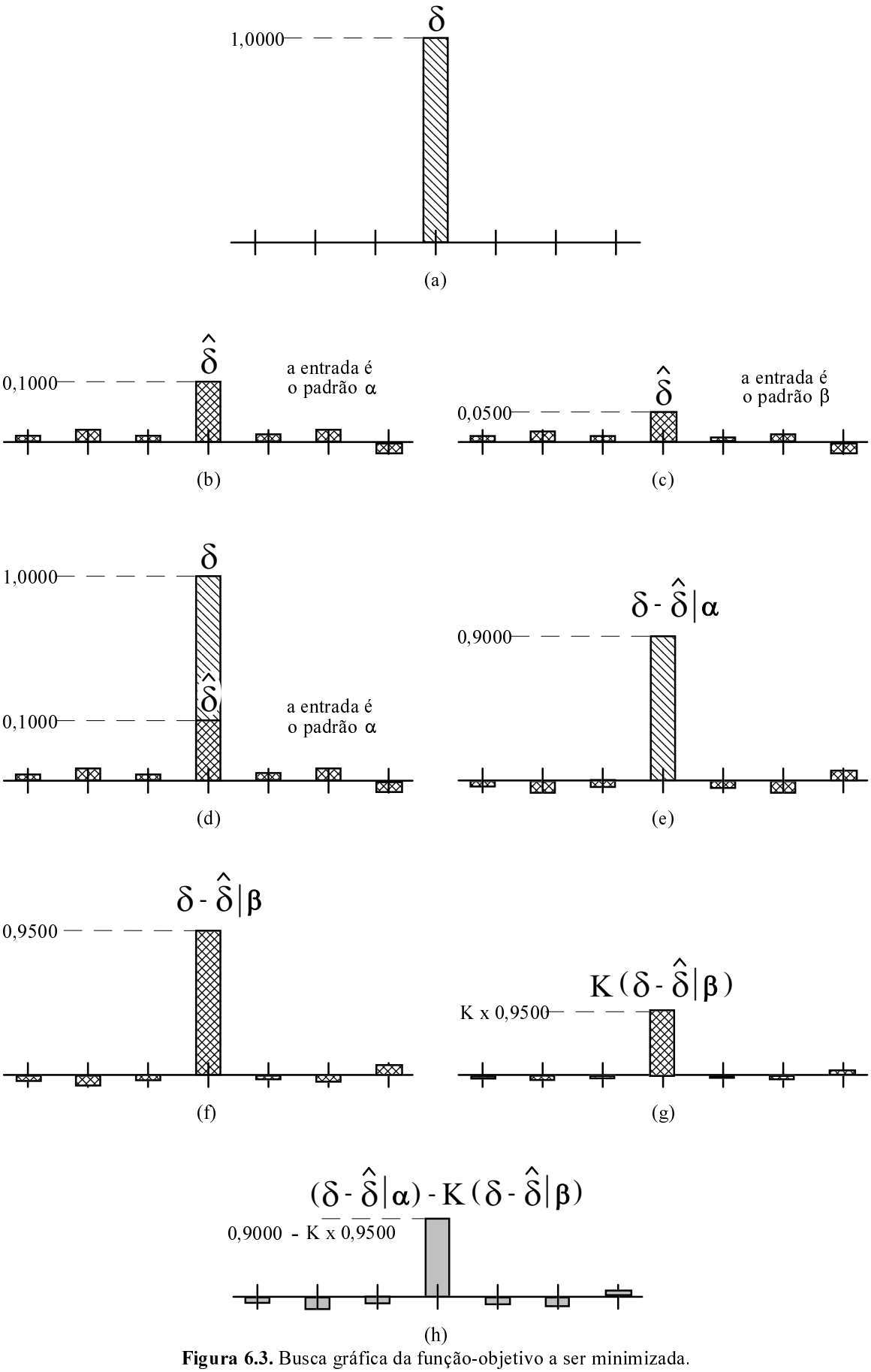


Figura 6.3. Busca gráfica da função-objetivo a ser minimizada.

Expressa-se então a função-objetivo que se deseja minimizar:

$$\zeta\,(\mathbf{F}_\alpha,\mathbf{F}_\beta,\mathbf{A},\mathbf{C_b}/\,\mathrm{N}) = \mathrm{E}[\|\,(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}\,|\alpha) - \mathrm{K}\,(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}\,|\beta)\,\|^2]\ , \tag{6.3}$$

onde o termo $\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}\,|\alpha$ exprime o erro de estimação do impulso para α dado que o padrão que gerou a imagem $\boldsymbol{g}$ é o padrão α, K é uma constante a ser arbitrada e o termo $\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}\,|\beta$ é o vetor que exprime a diferença entre o impulso a ser estimado para α e a estimação dele se a imagem de entrada for o padrão β, ao invés do padrão α.

Como

$$\hat{\boldsymbol{\delta}}\,|\alpha = \mathbf{A}\,\boldsymbol{g}_\alpha = \mathbf{A}\,\mathbf{F}_\alpha\,\boldsymbol{\delta} + \mathbf{A}\,\boldsymbol{b} \tag{6.4}$$

e

$$\hat{\boldsymbol{\delta}}\,|\beta = \mathbf{A}\,\boldsymbol{g}_\beta = \mathbf{A}\,\mathbf{F}_\beta\,\boldsymbol{\delta} + \mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\ , \tag{6.5}$$

$\zeta\,(\mathbf{F}_\alpha,\mathbf{F}_\beta,\mathbf{A},\mathbf{C_b}/\,\mathrm{N})$ pode ser reescrito como

$$\begin{aligned}
\zeta\,(\mathbf{F}_\alpha,\mathbf{F}_\beta,\mathbf{A},\mathbf{C_b}/\,\mathrm{N}) &= \mathrm{E}\,\{\,\|\,(\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\mathbf{F}_\alpha\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{b} - \mathrm{K}\,\boldsymbol{\delta} + \mathrm{K}\,\mathbf{A}\,\mathbf{F}_\beta\,\boldsymbol{\delta} + \mathrm{K}\,\mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\,)\,\|^2\,\} \\
&= \mathrm{E}\,\{\,\|\,(1\text{-}\mathrm{K})\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,(\mathbf{F}_\alpha - \mathrm{K}\mathbf{F}_\beta)\,\boldsymbol{\delta} - (1\text{-}\mathrm{K})\mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\,\|^2\,\} \\
&= (1\text{-}\mathrm{K})^2\,\mathrm{E}\,\{\,\|\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,(\mathbf{F}_\alpha - \mathrm{K}\mathbf{F}_\beta)/(1\text{-}\mathrm{K})\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\,\|^2\,\} \\
&= (1\text{-}\mathrm{K})^2\,\mathrm{E}\,\{\,\|\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\mathbf{F}_\gamma\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\,\|^2\,\} \\
&= (1\text{-}\mathrm{K})^2\,\mathrm{E}\,\{\,\|\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{g}_\gamma\,\|^2\,\} \\
&= (1\text{-}\mathrm{K})^2\,\mathrm{E}\,\{\,\|\,\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}_\gamma\,\|^2\}\ ,
\end{aligned} \tag{6.6}$$

onde

$$\mathbf{F}_\gamma = (\mathbf{F}_\alpha - \mathrm{K}\mathbf{F}_\beta)/(1\text{-}\mathrm{K})\ , \tag{6.7}$$

$$\boldsymbol{g}_\gamma = \mathbf{F}_\gamma\,\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b}\ , \tag{6.8}$$

$$\hat{\boldsymbol{\delta}}_\gamma = \mathbf{A}\,\boldsymbol{g}_\gamma\ . \tag{6.9}$$

O resultado da equação 6.6 diz que, para minimizar $\zeta\,(\mathbf{F}_\alpha,\mathbf{F}_\beta,\mathbf{A},\mathbf{C_b}/\,\mathrm{N})$, é necessário minimizar $\mathrm{E}\,\{\,\|\,\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}_\gamma\,\|^2\,\}$, que pode ser encarado como um erro de

estimação do impulso que o operador linear **A** oferece ao padrão $\mathbf{F}_\gamma = (\mathbf{F}_\alpha - K\mathbf{F}_\beta)/(1-K)$. Sendo assim, a solução para o mínimo de $\zeta(\mathbf{F}_\alpha,\mathbf{F}_\beta,\mathbf{A},\mathbf{C}_b/N)$ recai num problema matemático equivalente ao de calcular **A** tal que $\mathbf{A}\,\boldsymbol{g}_\gamma$ ofereça o menor erro quadrático esperado para um impulso que marque a localização de $\mathbf{F}_\gamma$, ao invés de $\mathbf{F}_\alpha$.

Como a imagem observada é $\boldsymbol{g}_\alpha$, pelo princípio da ortogonalidade, $\zeta(\mathbf{F}_\alpha,\mathbf{F}_\beta,\mathbf{A},\mathbf{C}_b/N)$ é então minimizado quando

$$
\begin{aligned}
&E\left\{ \{(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}\,|\alpha) - K\,(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}\,|\beta)\}\,\boldsymbol{g}_\alpha^{\,t} \right\} = \\
&E\left\{ (\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\mathbf{F}_\alpha\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{b} - K\,\boldsymbol{\delta} + K\,\mathbf{A}\,\mathbf{F}_\beta\,\boldsymbol{\delta} + K\,\mathbf{A}\,\boldsymbol{b})\,(\mathbf{F}_\alpha\,\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b})^t \right\} = \\
&E\left\{ \{(1-K)\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,(\mathbf{F}_\alpha - K\,\mathbf{F}_\beta)\boldsymbol{\delta} - (1-K)\mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\}\,(\mathbf{F}_\alpha\,\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b})^t \right\} = \\
&\qquad\qquad \text{(usando as equações 5.3, 5.4 e 5.5)} \\
&(1-K)\mathbf{F}_\alpha^{\,t} - \mathbf{A}\,(\mathbf{F}_\alpha - K\,\mathbf{F}_\beta)\mathbf{F}_\alpha^{\,t} - (1-K)\mathbf{A}\,\mathbf{C}_b = \mathbf{0} \quad . \qquad (6.10)
\end{aligned}
$$

Portanto, com a condição da equação 6.10, o operador **A** que reduz a $DSNR_2$ cruzada é expresso por

$$
\mathbf{A} = (1-K)\mathbf{F}_\alpha^{\,t}\left\{ (\mathbf{F}_\alpha - K\,\mathbf{F}_\beta)\mathbf{F}_\alpha^{\,t} + (1-K)\mathbf{C}_b \right\}^{-1} \quad . \qquad (6.11)
$$

Para o caso de calcular-se um filtro com a característica OU, como feito no desenvolvimento realizado no Capítulo 5 entre as equações 5.1 a 5.7, o termo igualado a zero na equação 6.11 é substituído por um somatório que pondera todas as influências das $DSNR_2$ cruzadas. Desta forma:

$$
\begin{aligned}
&\sum_m \sum_n p_m\, E\left\{ \{(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}\,/\,\text{padrão } m) - K_{m,n}\,(\boldsymbol{\delta} - \hat{\boldsymbol{\delta}}\,/\,\text{padrão } n)\}\,\boldsymbol{g}_m^{\,t} \right\} = \\
&\sum_m \sum_n p_m\, E\left\{ (\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\mathbf{F}_m\,\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,\boldsymbol{b} - K_{m,n}\,\boldsymbol{\delta} + K_{m,n}\mathbf{A}\,\mathbf{F}_n\,\boldsymbol{\delta} + K_{m,n}\mathbf{A}\,\boldsymbol{b})\,(\mathbf{F}_m\,\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b})^t \right\} = \\
&\sum_m \sum_n p_m\, E\left\{ \{(1-K_{m,n})\boldsymbol{\delta} - \mathbf{A}\,(\mathbf{F}_m - K_{m,n}\,\mathbf{F}_n)\boldsymbol{\delta} - (1-K_{m,n})\mathbf{A}\,\boldsymbol{b}\}\,(\mathbf{F}_m\,\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{b})^t \right\} = \\
&\sum_m \sum_n p_m \left\{ (1-K_{m,n})\mathbf{F}_m^{\,t} - \mathbf{A}\,(\mathbf{F}_m - K_{m,n}\,\mathbf{F}_n)\mathbf{F}_m^{\,t} - (1-K_{m,n})\mathbf{A}\,\mathbf{C}_b \right\} = \\
&\left\{ \sum_m \sum_n p_m\,(1-K_{m,n})\,\mathbf{F}_m^{\,t} \right\} - \mathbf{A} \sum_m \sum_n \left\{ p_m\,(\mathbf{F}_m - K_{m,n}\,\mathbf{F}_n)\mathbf{F}_m^{\,t} \right\} \\
&\qquad\qquad - \mathbf{A}\,(1 - \sum_m \sum_n p_m\,K_{m,n})\,\mathbf{C}_b \Big\} = \mathbf{0} \quad , \qquad (6.12)
\end{aligned}
$$

onde o coeficiente $K_{m,n}$ representa uma constante que pondera o quanto de influência do padrão *m* sobre o padrão *n* se quer minimizar.

Com o resultado da equação 6.12, o operador **A** é facilmente obtido:

$$\mathbf{A} = \left\{ \sum_m \sum_n p_m (1 - \mathrm{K}_{m,n}) \mathbf{F}_m^{\mathrm{t}} \right\} \left\{ (1 - \sum_m \sum_n p_m \mathrm{K}_{m,n}) \mathbf{C_b} + \sum_m \sum_n \{ p_m (\mathbf{F}_m - \mathrm{K}_{m,n} \mathbf{F}_n) \mathbf{F}_m^{\mathrm{t}} \} \right\}^{-1}. \quad (6.13)$$

Na equação 6.13, convém ressaltar que a matriz $\mathbf{F}_n$ foi deduzida a partir de um caso para o qual o padrão *n* está alinhado com o padrão *m* (vide fig. 6.3), ou seja, ambos os padrões estão com os picos de energia com o mesmo deslocamento. Isto causa um complicador em aplicações usando filtros do tipo QUAL, pois, para cada índice *m* desta equação, $\mathbf{F}_n$ teria uma forma diferente. Para solucionar este problema, define-se $\mathbf{F}_{m,n}$ como sendo a matriz **F** do padrão *n* deslocado com o centro referente ao padrão *m*, que, no caso do exemplo dos 10 dígitos, são aqueles da tabela 6.1. Com isso, a equação 6.13 pode ser readaptada como:

$$\mathbf{A} = \left\{ \sum_m \sum_n p_m (1 - \mathrm{K}_{m,n}) \mathbf{F}_{m,m}^{\mathrm{t}} \right\} \left\{ (1 - \sum_m \sum_n p_m \mathrm{K}_{m,n}) \mathbf{C_b} + \sum_m \sum_n \{ p_m (\mathbf{F}_{m,m} - \mathrm{K}_{m,n} \mathbf{F}_{m,n}) \mathbf{F}_{m,m}^{\mathrm{t}} \} \right\}^{-1}. \quad (6.14)$$

6.3. Critérios para Teste da Eficiência na Redução da $DSNR_2$ Cruzada

Para testar o método proposto que resultou da equação 6.14, novamente toma-se o exemplo dos 10 dígitos. A interação com o usuário é resumida com a informação da matriz $\mathbf{K} = \{ K_{m,n} \}$, que diz o quanto de $DSNR_2$ cruzada se deve retirar. Inspecionando a tabela 6.2, verificam-se quais as $DSNR_2$ merecem ser reduzidas e arbitra-se, como primeira tentativa, $\mathbf{K}^{(1)}$ (o valor superescrito $^{(1)}$ será usado a partir de agora como um índice identificador para que matriz **K** está sob investigação) igual a:

$$\mathbf{K}^{(1)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 4 & 0 \end{bmatrix} . \quad (6.15)$$

Deve-se notar que existe uma semelhança entre a matriz transposta de $\mathbf{K}^{(1)}$ e os valores cruzados de $DSNR_2$ mostrados na tabela 6.2 (*$DSNR_2$ cruzada(m,n)*), pois o coeficiente $K^{(1)}_{m,n}$ faz com que se retire um pouco de influência do padrão *n* sobre o padrão *m*. Valores positivos $K^{(1)}_{m,m}$ na diagonal significam apenas que se deseja retirar um pouco de peso do padrão *m* no cálculo do filtro Θ_{QUAL}, enquanto que valores negativos (que aparecerão em outros testes) indicam que se está aumentando o peso do padrão *m*.

A simulação da equação 6.14 com a matriz **K**, definida pela equação 6.15, gerou um filtro QUAL que, quando convoluído circularmente com cada um dos dígitos da figura 6.1, ofereceu o conjunto de $DSNR_2$ cruzadas mostrado na tabela 6.3.

Para avaliar a melhoria que esta primeira simulação ofereceu, são sugeridos 5 critérios objetivos:

Critério A	$DSNR_2$ cruzada (α,α)	Quanto maior, melhor
Critério B	Máxima $DSNR_2$ cruzada (α,β), $\beta \neq \alpha$, fixando α	Quanto menor, melhor
Critério C	Diferença entre os valores dos critérios A e B	Quanto maior, melhor
Critério D	Quociente entre os valores dos critérios A e B	Quanto maior, melhor
Critério E	Valor mais crítico do critério D	Quanto maior, melhor

Tabela 6.3. $DSNR_2$ cruzadas resultantes para cada padrão se o filtro QUAL for convoluído com o padrão (usa $\mathbf{K}^{(1)}$).

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,0964**	0,0034	0,0078	0,0224	0,0033	0,0014	0,0026	0,0284	0,0004	0,0010
padrão "2"	0,0000	**0,1219**	0,0176	0,0027	0,0000	0,0006	0,0006	0,0210	0,0015	0,0330
padrão "3"	0,0003	0,0059	**0,1166**	0,0003	0,0246	0,0328	0,0010	*0,0825*	*0,0490*	*0,0604*
padrão "4"	0,0315	0,0006	0,0097	**0,1410**	0,0026	0,0006	0,0097	0,0068	0,0016	0,0023
padrão "5"	0,0043	0,0016	0,0182	0,0217	**0,0957**	0,0191	0,0011	0,0064	0,0237	0,0002
padrão "6"	0,0000	0,0010	*0,0486*	0,0063	0,0327	**0,1241**	0,0005	*0,0534*	0,0283	*0,0373*
padrão "7"	0,0002	0,0010	0,0003	0,0004	0,0137	0,0027	**0,1057**	0,0002	0,0107	0,0005
padrão "8"	0,0013	0,0062	*0,0648*	0,0035	0,0254	*0,0727*	0,0007	**0,1432**	0,0302	*0,0671*
padrão "9"	0,0000	0,0034	0,0160	0,0091	0,0179	0,0208	0,0002	0,0145	**0,0950**	*0,0511*
padrão "0"	0,0006	0,0098	*0,0436*	0,0009	0,0072	*0,0607*	0,0009	*0,0425*	0,0312	**0,0822**

Comparando as tabelas 6.2 e 6.3, constrói-se a tabela 6.4, que aponta os valores numéricos dos 5 critérios para cada um dos 10 padrões α usados nas simulações.

Tabela 6.4. Valores numéricos dos 5 critérios nas duas simulações (continua...).

Padrão	Simulação	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	"QUAL" original	0,0938	0,0287	0,0651	3,2683	
"2"	"QUAL" original	0,1266	0,0338	0,0928	3,7456	
"3"	"QUAL" original	0,1127	0,0854	0,0273	1,3197	1,3197
"4"	"QUAL" original	0,1497	0,0308	0,1189	4,8604	
"5"	"QUAL" original	0,0910	0,0218	0,0692	4,1743	
"6"	"QUAL" original	0,1281	0,0542	0,0739	2,3635	
"7"	"QUAL" original	0,1082	0,0136	0,0946	7,9559	
"8"	"QUAL" original	0,1466	0,0743	0,0723	1,9731	
"9"	"QUAL" original	0,0824	0,0544	0,0280	1,5147	
"0"	"QUAL" original	0,0877	0,0610	0,0267	1,4377	

Tabela 6.4. (continuação...) Valores numéricos dos 5 critérios nas duas simulações.

Padrão	Simulação	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,0964	0,0284	0,0680	3,3937	
"2"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,1219	0,0330	0,0889	3,6939	
"3"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,1166	0,0825	0,0341	1,4133	
"4"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,1410	0,0315	0,1095	4,4762	
"5"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,0957	0,0237	0,0720	4,0380	
"6"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,1241	0,0534	0,0707	2,3240	
"7"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,1057	0,0137	0,0920	7,7137	
"8"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,1432	0,0727	0,0705	1,9697	
"9"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,0950	0,0511	0,0439	1,8591	
"0"	Eq. 6.14 com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(1)}$	0,0822	0,0607	0,0215	1,3542	1,3542

Com a tabela 6.4, pode-se resumir a melhoria do novo algoritmo que reduz as $DSNR_2$ cruzadas com os seguintes índices:

	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
% de valores melhorados	40 %	10 %	40 %	30 %	100 %
% de valores piorados	60 %	20 %	60 %	40 %	-
% de valores inalterados	-	70 %	-	30 %	-

Como observado, não adiantou tentar melhorar o sistema como um todo numa única investida. É claro que, quando se beneficia um padrão usando um determinado critério, estar-se-á atrapalhando outro padrão. Portanto, torna-se necessário ir ajustando

paulatinamente cada coeficiente da matriz **K**, atuando em alguma $DSNR_2$ cruzada (α,β) específica, através do ajuste de $K_{\beta,\alpha}$.

A estratégia para a busca da matriz **K** mais adequada recai, a partir de agora, na atuação sobre o critério que ofereça o maior benefício para a aplicação principal do filtro QUAL, que é a discriminação de padrões em uma imagem. Sem dúvida, o critério principal é o critério E, que enxerga o pior caso do critério D, sendo que este último conjuga os critérios A e B.

Observando a tabela 6.4, nota-se que, para ambos os casos, existem alguns valores muito baixos para o critério D, resultando-se conseqüentemente num valor baixo para o critério E. Isto pode ser muito danoso num algoritmo de reconhecimento, já que pode provocar a confusão entre dois padrões quando houver ruído corrompendo a imagem. Dentre estas confusões, citam-se as possibilidades de:

- "3" ser reconhecido como "8" (filtro original);
- "9" ser reconhecido como "0" (filtro original);
- "0" ser reconhecido como "6" (filtro original);
- "3" ser reconhecido como "8" (filtro usando $\mathbf{K}^{(1)}$);
- "0" ser reconhecido como "6" (filtro usando $\mathbf{K}^{(1)}$).

Os testes a seguir utilizaram matrizes **K** com pequenos ajustes (sombreados em cinza) de uma tentativa para outra. Para cada teste, estão listadas a tabela de $DSNR_2$ cruzadas e a tabela com os valores objetivos dos 5 critérios. O filtro resultante considerado satisfatório foi obtido para $\mathbf{K} = \mathbf{K}^{(9)}$, quando se obteve um valor acima de 1,7000 para o critério E, que, após várias outras tentativas, não foi superado.

$$\mathbf{K}^{(2)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 4 & 0 \end{bmatrix}$$

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,0975**	0,0036	0,0077	0,0227	0,0033	0,0014	0,0027	0,0285	0,0004	0,0010
padrão "2"	0,0000	**0,1223**	0,0178	0,0025	0,0000	0,0006	0,0005	0,0219	0,0015	0,0333
padrão "3"	0,0003	0,0059	**0,1179**	0,0004	0,0248	0,0330	0,0010	*0,0766*	*0,0494*	*0,0608*
padrão "4"	0,0317	0,0007	0,0097	**0,1417**	0,0027	0,0006	0,0096	0,0067	0,0014	0,0023
padrão "5"	0,0043	0,0017	0,0184	0,0214	**0,0972**	0,0192	0,0011	0,0057	0,0236	0,0002
padrão "6"	0,0000	0,0010	*0,0496*	0,0061	0,0328	**0,1252**	0,0005	*0,0486*	0,0287	*0,0376*
padrão "7"	0,0002	0,0009	0,0003	0,0004	0,0139	0,0027	**0,1065**	0,0002	0,0105	0,0005
padrão "8"	0,0013	0,0063	*0,0662*	0,0033	0,0256	*0,0736*	0,0007	**0,1328**	0,0308	*0,0681*
padrão "9"	0,0000	0,0034	0,0162	0,0088	0,0181	0,0210	0,0001	0,0133	**0,0962**	*0,0519*
padrão "0"	0,0006	0,0099	*0,0442*	0,0008	0,0072	*0,0611*	0,0009	*0,0387*	0,0319	**0,0835**

Padrão	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	0,0975	0,0285	0,0690	3,4211	
"2"	0,1223	0,0219	0,1004	5,5845	
"3"	0,1179	0,0766	0,0413	1,5392	
"4"	0,1417	0,0317	0,1100	4,4700	
"5"	0,0972	0,0236	0,0736	4,1186	
"6"	0,1252	0,0496	0,0756	2,5242	
"7"	0,1065	0,0139	0,0926	7,6619	
"8"	0,1328	0,0736	0,0592	1,8043	
"9"	0,0962	0,0519	0,0443	1,8536	
"0"	0,0835	0,0611	0,0224	1,3666	1,3666

$$\mathbf{K}^{(3)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 4 & 0 \end{bmatrix}$$

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,0980**	0,0037	0,0077	0,0229	0,0033	0,0014	0,0027	0,0288	0,0005	0,0009
padrão "2"	0,0000	**0,1230**	0,0180	0,0025	0,0000	0,0006	0,0005	0,0218	0,0016	0,0333
padrão "3"	0,0003	0,0060	**0,1188**	0,0004	0,0249	0,0315	0,0010	*0,0755*	*0,0498*	*0,0612*
padrão "4"	0,0319	0,0007	0,0095	**0,1423**	0,0027	0,0006	0,0096	0,0068	0,0014	0,0023
padrão "5"	0,0044	0,0017	0,0185	0,0214	**0,0982**	0,0184	0,0011	0,0056	0,0239	0,0002
padrão "6"	0,0000	0,0010	*0,0501*	0,0060	0,0330	**0,1204**	0,0005	*0,0479*	0,0289	*0,0380*
padrão "7"	0,0002	0,0009	0,0003	0,0004	0,0139	0,0028	**0,1069**	0,0002	0,0104	0,0006
padrão "8"	0,0013	0,0063	*0,0669*	0,0033	0,0258	*0,0710*	0,0007	**0,1308**	0,0310	*0,0687*
padrão "9"	0,0000	0,0034	0,0165	0,0088	0,0183	0,0202	0,0002	0,0132	**0,0974**	*0,0524*
padrão "0"	0,0006	0,0099	*0,0446*	0,0008	0,0073	*0,0589*	0,0009	*0,0381*	0,0322	**0,0845**

Padrão	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	0,0980	0,0288	0,0692	3,4028	
"2"	0,1230	0,0333	0,0897	3,6937	
"3"	0,1188	0,0755	0,0433	1,5735	
"4"	0,1423	0,0319	0,1104	4,4608	
"5"	0,0982	0,0239	0,0743	4,1088	
"6"	0,1204	0,0501	0,0703	2,4032	
"7"	0,1069	0,0139	0,0930	7,6906	
"8"	0,1308	0,0710	0,0598	1,8423	
"9"	0,0974	0,0524	0,0450	1,8588	
"0"	0,0845	0,0589	0,0256	1,4346	1,4346

$$\mathbf{K}^{(4)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 4 & 0 \end{bmatrix}$$

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,0983**	0,0037	0,0078	0,0232	0,0034	0,0014	0,0027	0,0290	0,0005	0,0009
padrão "2"	0,0000	**0,1237**	0,0182	0,0025	0,0000	0,0005	0,0006	0,0218	0,0017	0,0332
padrão "3"	0,0002	0,0061	**0,1195**	0,0003	0,0250	0,0294	0,0010	*0,0759*	*0,0503*	*0,0613*
padrão "4"	0,0320	0,0007	0,0095	**0,1429**	0,0027	0,0006	0,0097	0,0069	0,0013	0,0024
padrão "5"	0,0044	0,0016	0,0185	0,0215	**0,0990**	0,0171	0,0011	0,0056	0,0242	0,0003
padrão "6"	0,0000	0,0010	*0,0507*	0,0060	0,0331	**0,1132**	0,0005	*0,0484*	0,0291	*0,0386*
padrão "7"	0,0002	0,0009	0,0003	0,0004	0,0140	0,0028	**0,1072**	0,0002	0,0104	0,0006
padrão "8"	0,0014	0,0063	*0,0675*	0,0033	0,0259	*0,0669*	0,0007	**0,1316**	0,0312	*0,0693*
padrão "9"	0,0000	0,0035	0,0167	0,0089	0,0185	0,0191	0,0002	0,0135	**0,0990**	*0,0529*
padrão "0"	0,0006	0,0100	*0,0448*	0,0008	0,0074	*0,0554*	0,0009	*0,0385*	0,0325	**0,0854**

Padrão	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	0,0983	0,0290	0,0693	3,3897	
"2"	0,1237	0,0332	0,0905	3,7259	
"3"	0,1195	0,0759	0,0436	1,5744	
"4"	0,1429	0,0320	0,1109	4,4656	
"5"	0,0990	0,0242	0,0748	4,0909	
"6"	0,1132	0,0507	0,0625	2,2327	
"7"	0,1072	0,0140	0,0932	7,6571	
"8"	0,1316	0,0693	0,0623	1,8990	
"9"	0,0990	0,0529	0,0461	1,8715	
"0"	0,0854	0,0554	0,0300	1,5415	1,5415

$$\mathbf{K}^{(5)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 & 4 & 0 \end{bmatrix}$$

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,0993**	0,0036	0,0079	0,0240	0,0035	0,0015	0,0027	0,0288	0,0005	0,0009
padrão "2"	0,0000	**0,1250**	0,0187	0,0025	0,0000	0,0004	0,0006	0,0222	0,0018	0,0322
padrão "3"	0,0002	0,0063	**0,1213**	0,0003	0,0251	0,0268	0,0010	*0,0770*	*0,0509*	*0,0589*
padrão "4"	0,0324	0,0007	0,0093	**0,1444**	0,0027	0,0005	0,0098	0,0072	0,0012	0,0024
padrão "5"	0,0044	0,0016	0,0187	0,0217	**0,1008**	0,0155	0,0012	0,0057	0,0248	0,0002
padrão "6"	0,0000	0,0010	*0,0517*	0,0060	0,0336	**0,1046**	0,0005	*0,0497*	0,0295	*0,0370*
padrão "7"	0,0002	0,0009	0,0003	0,0004	0,0141	0,0028	**0,1077**	0,0002	0,0104	0,0006
padrão "8"	0,0013	0,0064	*0,0687*	0,0033	0,0262	*0,0620*	0,0007	**0,1335**	0,0314	*0,0671*
padrão "9"	0,0000	0,0037	0,0173	0,0091	0,0188	0,0178	0,0002	0,0140	**0,1015**	*0,0510*
padrão "0"	0,0006	0,0101	*0,0458*	0,0008	0,0076	*0,0518*	0,0009	*0,0397*	0,0336	**0,0810**

Padrão	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	0,0993	0,0288	0,0705	3,4480	
"2"	0,1250	0,0322	0,0928	3,8820	
"3"	0,1213	0,0770	0,0443	1,5753	
"4"	0,1444	0,0324	0,1120	4,4568	
"5"	0,1008	0,0248	0,0760	4,0645	
"6"	0,1046	0,0517	0,0529	2,0232	
"7"	0,1077	0,0141	0,0936	7,6383	
"8"	0,1335	0,0687	0,0648	1,9432	
"9"	0,1015	0,0510	0,0505	1,9902	
"0"	0,0810	0,0518	0,0292	1,5637	1,5637

$$\mathbf{K}^{(6)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 & 4 & -4 \end{bmatrix}$$

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,1004**	0,0041	0,0079	0,0246	0,0036	0,0013	0,0028	0,0299	0,0007	0,0008
padrão "2"	0,0000	**0,1268**	0,0192	0,0022	0,0000	0,0003	0,0006	0,0207	0,0021	0,0335
padrão "3"	0,0002	0,0064	**0,1235**	0,0004	0,0255	0,0227	0,0010	*0,0683*	*0,0524*	*0,0634*
padrão "4"	0,0328	0,0009	0,0090	**0,1457**	0,0028	0,0005	0,0097	0,0072	0,0009	0,0025
padrão "5"	0,0047	0,0015	0,0190	0,0213	**0,1039**	0,0132	0,0012	0,0047	0,0251	0,0004
padrão "6"	0,0000	0,0011	*0,0539*	0,0057	0,0337	**0,0912**	0,0005	*0,0429*	0,0303	*0,0417*
padrão "7"	0,0001	0,0008	0,0004	0,0004	0,0144	0,0031	**0,1091**	0,0003	0,0102	0,0007
padrão "8"	0,0015	0,0065	*0,0713*	0,0032	0,0267	*0,0546*	0,0007	**0,1183**	0,0324	*0,0738*
padrão "9"	0,0000	0,0038	0,0180	0,0086	0,0196	0,0155	0,0002	0,0126	**0,1060**	*0,0568*
padrão "0"	0,0006	0,0103	*0,0462*	0,0007	0,0080	*0,0446*	0,0009	*0,0340*	*0,0344*	**0,0922**

Padrão	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	0,1004	0,0299	0,0705	3,3579	
"2"	0,1268	0,0335	0,0933	3,7851	
"3"	0,1235	0,0683	0,0552	1,8082	
"4"	0,1457	0,0328	0,1129	4,4421	
"5"	0,1039	0,0251	0,0788	4,1394	
"6"	0,0912	0,0539	0,0373	1,6920	
"7"	0,1091	0,0144	0,0947	7,5764	
"8"	0,1183	0,0738	0,0445	1,6030	1,6030
"9"	0,1060	0,0568	0,0492	1,8662	
"0"	0,0922	0,0462	0,0460	1,9957	

$$\mathbf{K}^{(7)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 6 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 5 & 0 & -4 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 10 & 4 & -4 \end{bmatrix}$$

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,1025**	0,0037	0,0079	0,0253	0,0036	0,0015	0,0027	0,0289	0,0006	0,0007
padrão "2"	0,0000	**0,1302**	0,0181	0,0024	0,0000	0,0003	0,0005	0,0214	0,0021	0,0318
padrão "3"	0,0002	0,0065	**0,1081**	0,0003	0,0263	0,0242	0,0011	*0,0723*	*0,0538*	*0,0603*
padrão "4"	0,0335	0,0007	0,0089	**0,1487**	0,0028	0,0005	0,0098	0,0073	0,0010	0,0022
padrão "5"	0,0047	0,0016	0,0165	0,0212	**0,1076**	0,0136	0,0013	0,0048	0,0254	0,0003
padrão "6"	0,0000	0,0010	*0,0473*	0,0057	0,0356	**0,0933**	0,0005	*0,0451*	0,0308	*0,0388*
padrão "7"	0,0002	0,0009	0,0004	0,0004	0,0145	0,0029	**0,1107**	0,0003	0,0099	0,0007
padrão "8"	0,0015	0,0063	*0,0626*	0,0032	0,0275	*0,0562*	0,0008	**0,1244**	0,0328	*0,0701*
padrão "9"	0,0000	0,0039	0,0153	0,0091	0,0201	0,0158	0,0001	0,0135	**0,1078**	*0,0530*
padrão "0"	0,0007	0,0103	*0,0410*	0,0007	0,0084	*0,0465*	0,0010	*0,0364*	0,0360	**0,0845**

Padrão	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	0,1025	0,0289	0,0736	3,5467	1,4952
"2"	0,1302	0,0318	0,0984	4,0943	
"3"	0,1081	0,0723	0,0358	1,4952	
"4"	0,1487	0,0335	0,1152	4,4388	
"5"	0,1076	0,0254	0,0822	4,2362	
"6"	0,0933	0,0473	0,0460	1,9725	
"7"	0,1107	0,0145	0,0962	7,6345	
"8"	0,1244	0,0701	0,0543	1,7746	
"9"	0,1078	0,0530	0,0548	2,0340	
"0"	0,0845	0,0465	0,0380	1,8172	

$$\mathbf{K}^{(8)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -5 & 0 & 0 & 5 & 0 & 6 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 5 & 0 & -4 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 10 & 4 & -4 \end{bmatrix}$$

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,1016**	0,0038	0,0078	0,0253	0,0037	0,0015	0,0027	0,0292	0,0006	0,0008
padrão "2"	0,0000	**0,1280**	0,0191	0,0023	0,0000	0,0003	0,0005	0,0215	0,0021	0,0320
padrão "3"	0,0002	0,0065	**0,1201**	0,0003	0,0260	0,0237	0,0010	*0,0714*	*0,0531*	*0,0595*
padrão "4"	0,0332	0,0007	0,0089	**0,1472**	0,0028	0,0005	0,0098	0,0074	0,0009	0,0024
padrão "5"	0,0045	0,0015	0,0183	0,0215	**0,1055**	0,0134	0,0013	0,0049	0,0255	0,0003
padrão "6"	0,0000	0,0010	*0,0521*	0,0057	0,0345	**0,0924**	0,0005	*0,0448*	0,0306	*0,0380*
padrão "7"	0,0001	0,0009	0,0004	0,0004	0,0145	0,0029	**0,1097**	0,0003	0,0102	0,0007
padrão "8"	0,0014	0,0064	*0,0690*	0,0032	0,0271	*0,0556*	0,0007	**0,1228**	0,0325	*0,0689*
padrão "9"	0,0000	0,0039	0,0175	0,0090	0,0197	0,0160	0,0002	0,0133	**0,1069**	*0,0526*
padrão "0"	0,0006	0,0103	*0,0457*	0,0007	0,0081	*0,0463*	0,0009	*0,0362*	0,0356	**0,0831**

Padrão	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	0,1016	0,0292	0,0724	3,4795	
"2"	0,1280	0,0320	0,0960	4,0000	
"3"	0,1201	0,0714	0,0487	1,6821	1,6821
"4"	0,1472	0,0332	0,1140	4,4337	
"5"	0,1055	0,0255	0,0800	4,1373	
"6"	0,0924	0,0521	0,0403	1,7735	
"7"	0,1097	0,0145	0,0952	7,5655	
"8"	0,1228	0,0690	0,0538	1,7797	
"9"	0,1069	0,0526	0,0543	2,0323	
"0"	0,0831	0,0463	0,0368	1,7948	

$$\mathbf{K}^{(9)} = 0{,}1 \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -5 & 0 & 0 & 5 & 0 & 6 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 16 & 0 & 0 & 5 & 0 & -4 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 10 & 3 & -4 \end{bmatrix}$$

Entrada α do filtro QUAL	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "1"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "2"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "3"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "4"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "5"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "6"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "7"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "8"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "9"	$DSNR_2$ cruzada para padrão β = "0"
padrão "1"	**0,1017**	0,0039	0,0078	0,0252	0,0036	0,0014	0,0028	0,0294	0,0006	0,0008
padrão "2"	0,0000	**0,1279**	0,0191	0,0023	0,0000	0,0003	0,0005	0,0212	0,0021	0,0324
padrão "3"	0,0002	0,0065	**0,1201**	0,0004	0,0260	0,0237	0,0010	*0,0697*	*0,0532*	*0,0605*
padrão "4"	0,0332	0,0008	0,0089	**0,1471**	0,0028	0,0005	0,0098	0,0074	0,0009	0,0024
padrão "5"	0,0046	0,0015	0,0183	0,0214	**0,1058**	0,0134	0,0013	0,0047	0,0254	0,0003
padrão "6"	0,0000	0,0010	*0,0522*	0,0056	0,0345	**0,0923**	0,0005	*0,0435*	0,0306	*0,0388*
padrão "7"	0,0001	0,0009	0,0004	0,0004	0,0145	0,0030	**0,1098**	0,0003	0,0101	0,0007
padrão "8"	0,0015	0,0064	*0,0692*	0,0032	0,0272	*0,0556*	0,0007	**0,1199**	0,0326	*0,0702*
padrão "9"	0,0000	0,0039	0,0175	0,0089	0,0198	0,0160	0,0002	0,0130	**0,1071**	*0,0537*
padrão "0"	0,0006	0,0103	*0,0456*	0,0007	0,0081	*0,0461*	0,0009	*0,0351*	0,0354	**0,0853**

Padrão	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
"1"	0,1017	0,0294	0,0723	3,4592	
"2"	0,1279	0,0324	0,0955	3,9475	
"3"	0,1201	0,0697	0,0504	1,7231	
"4"	0,1471	0,0332	0,1139	4,4307	
"5"	0,1058	0,0254	0,0804	4,1654	
"6"	0,0923	0,0522	0,0401	1,7682	
"7"	0,1098	0,0145	0,0953	7,5724	
"8"	0,1199	0,0702	0,0497	1,7080	1,7080
"9"	0,1071	0,0537	0,0534	1,9944	
"0"	0,0853	0,0461	0,0392	1,8503	

O filtro QUAL obtido com $\mathbf{K} = \mathbf{K}^{(9)}$ será, deste ponto em diante, o filtro que representará nas simulações o método de redução da discriminação cruzada apresentado neste capítulo. Em resumo, em relação ao filtro QUAL original do capítulo 5:

	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D	Critério E
% de valores melhorados	40 %	40 %	70 %	60 %	100 %
% de valores piorados	30 %	40 %	30 %	20 %	-
% de valores inalterados	30 %	20 %	-	20 %	-

Apesar de apresentar uma ligeira melhoria nos valores objetivos alcançados para os critérios A a D, sem dúvida, o resultado de grande relevância do método foi subir o valor objetivo do critério E de 1,3197 para 1,7080, ou seja, quase 30%.

As figuras 6.4 e 6.5 ilustram graficamente como variaram os valores do critério D ao longo das tentativas. Nota-se que, para $\mathbf{K}^{(9)}$, os valores mais baixos (padrões "3", "6", "8", "9" e "0") estão distribuídos de forma bem mais uniforme do que os valores originais obtidos com o método do Capítulo 6.

Um fato interessante é que alguns valores intermediários para o critério D oscilaram durante os testes. Isto corrobora o fato de que o método não faz "mágicas", já que ele simplesmente é capaz de retirar eficiência na discriminação de um padrão e remanejá-la para a discriminação de outro padrão. Baseada nas referidas oscilações, uma alternativa então para um algoritmo de reconhecimento de padrões é, em caso de dúvida entre dois padrões, utilizar algum filtro intermediário do treinamento que discrimine melhor os dois padrões em questão.

A figura 6.6 mostra os sinais resultantes da convolução de cada padrão com o filtro QUAL obtido para $\mathbf{K} = \mathbf{K}^{(9)}$. Deve-se reparar que agora os picos máximos de energia dos padrões mais críticos, principalmente os padrões "3", "9" e "0", estão bem mais nítidos do que os apresentados na figura 6.2.

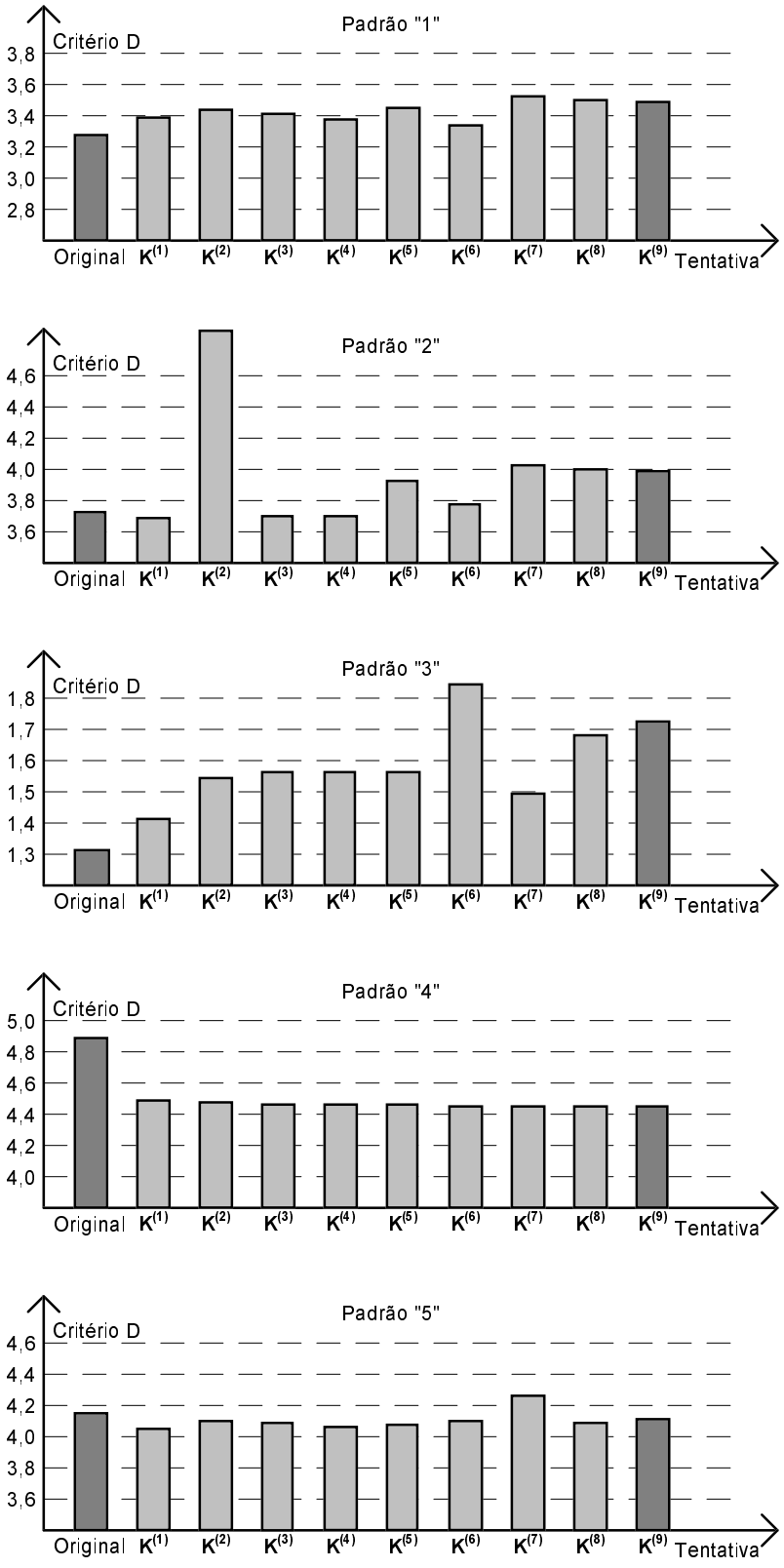


Figura 6.4. Evolução dos valores obtidos para o critério D ao longo das tentativas organizados por padrão (continua...).

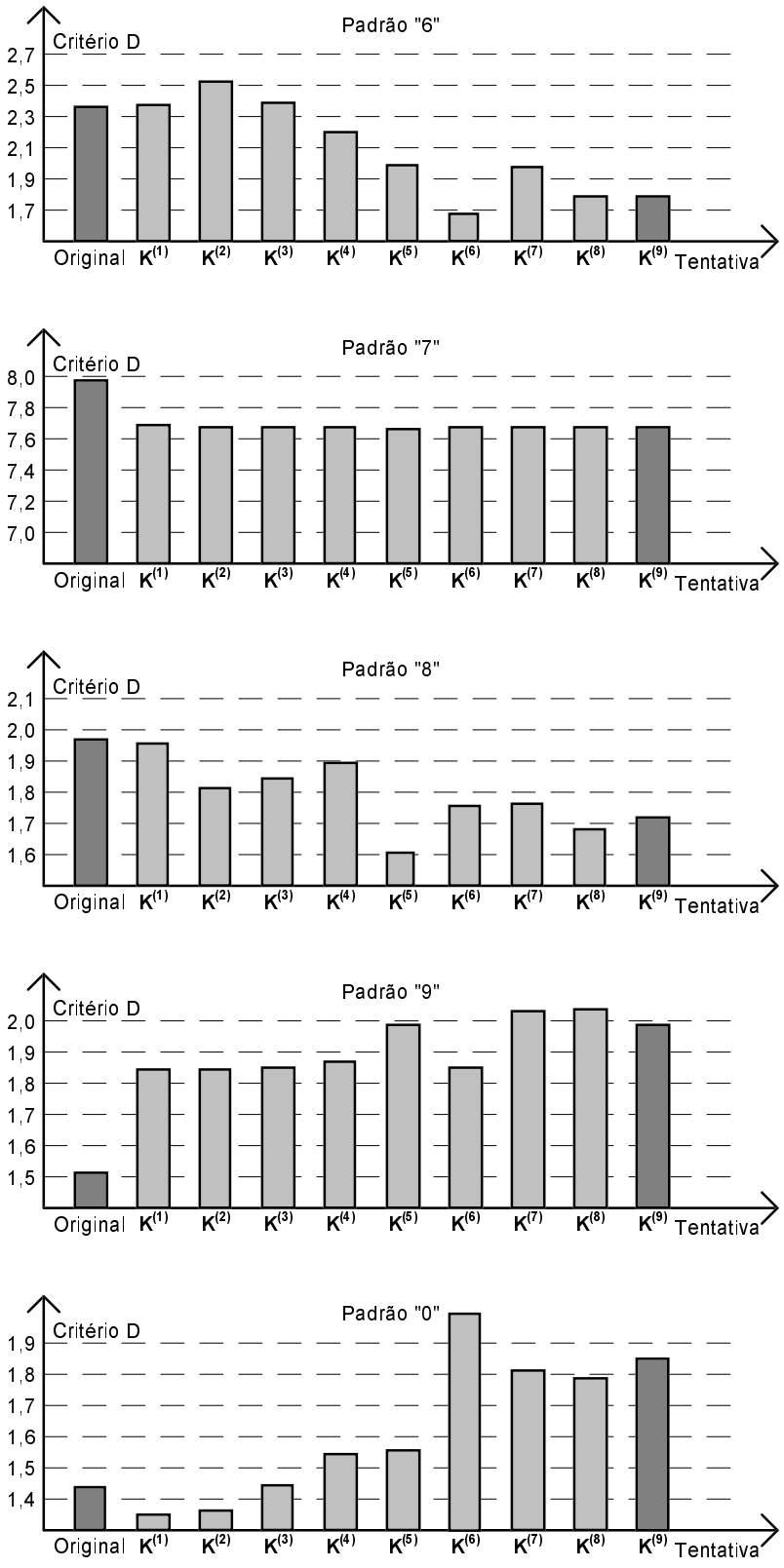


Figura 6.4. (continuação...) Evolução dos valores obtidos para o critério D ao longo das tentativas organizados por padrão.

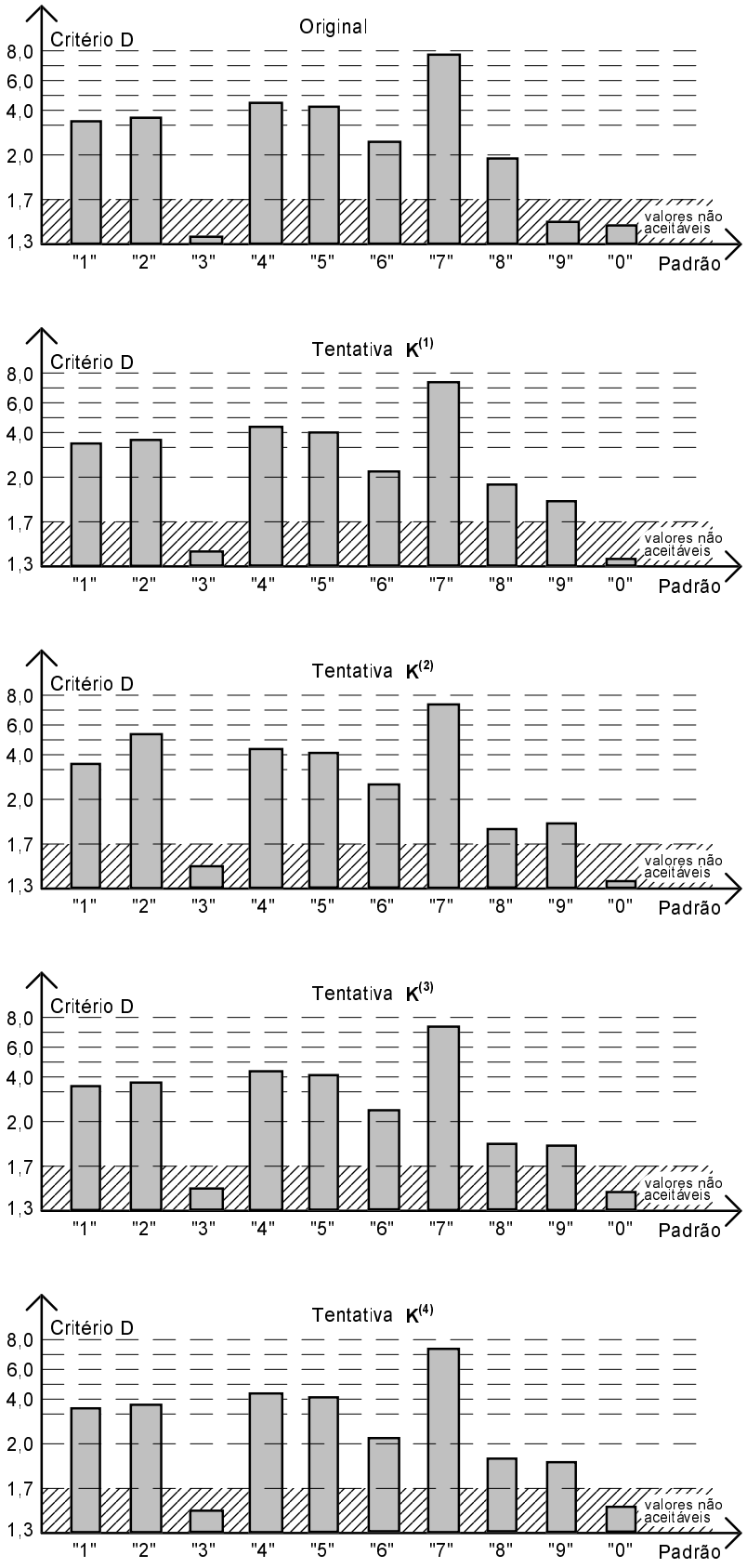


Figura 6.5. Evolução dos valores obtidos para o critério D organizados por tentativa (continua...).

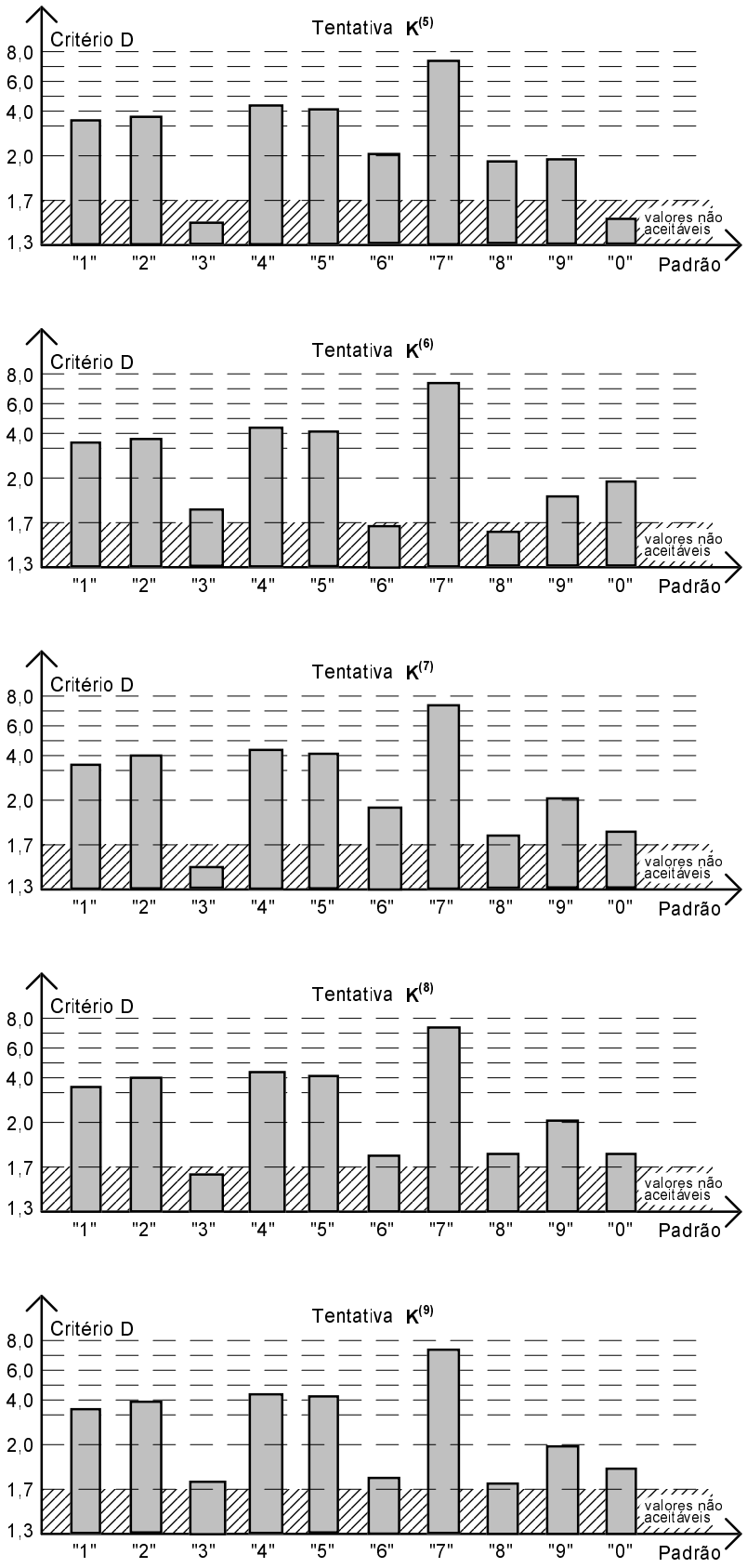


Figura 6.5. (continuação...) Evolução dos valores obtidos para o critério D organizados por tentativa.

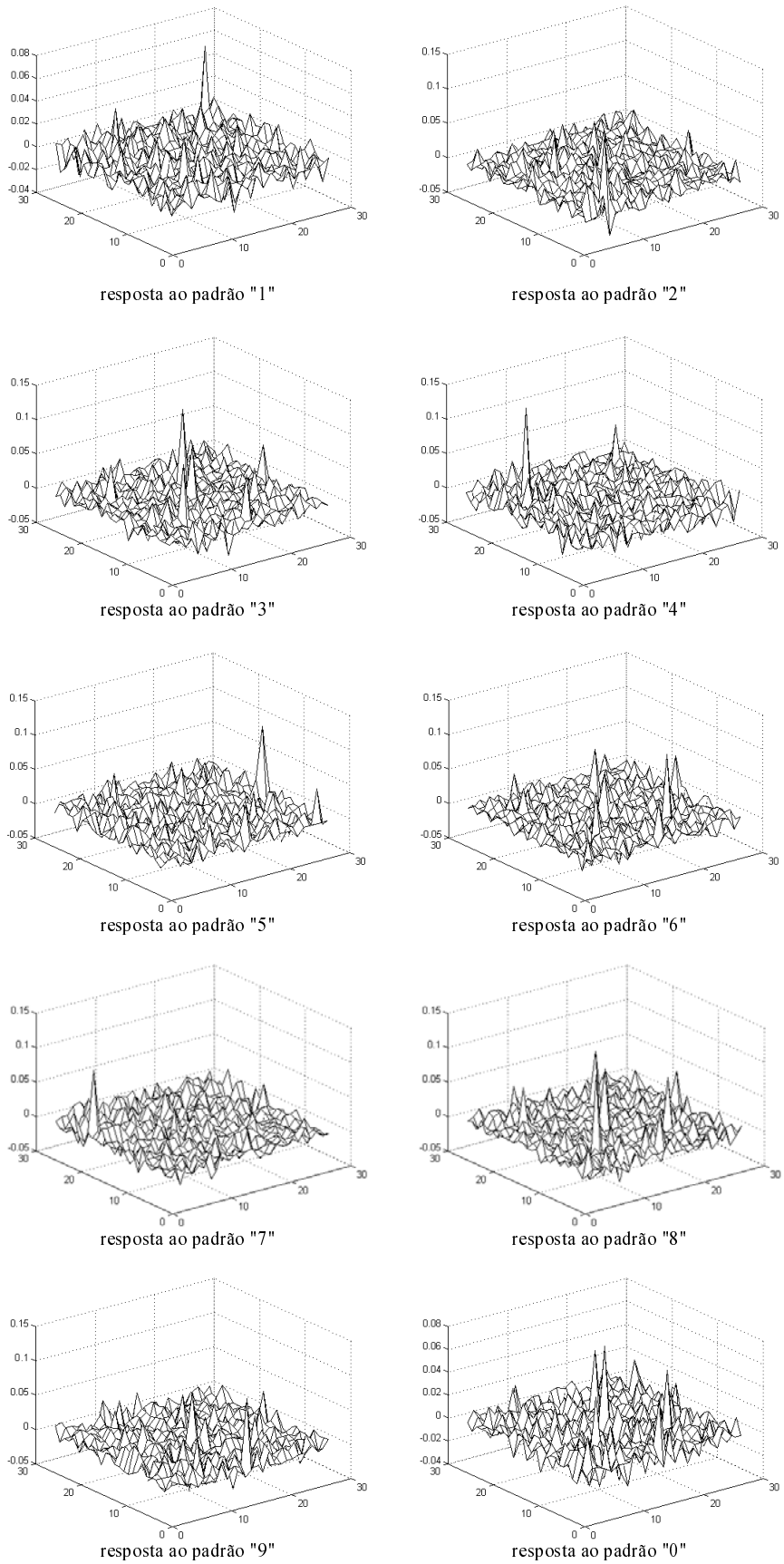
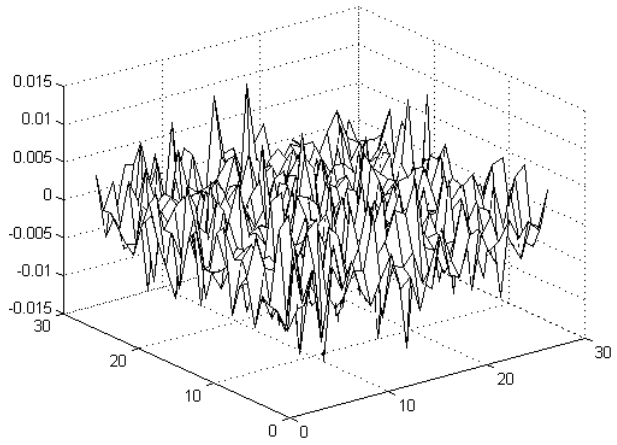


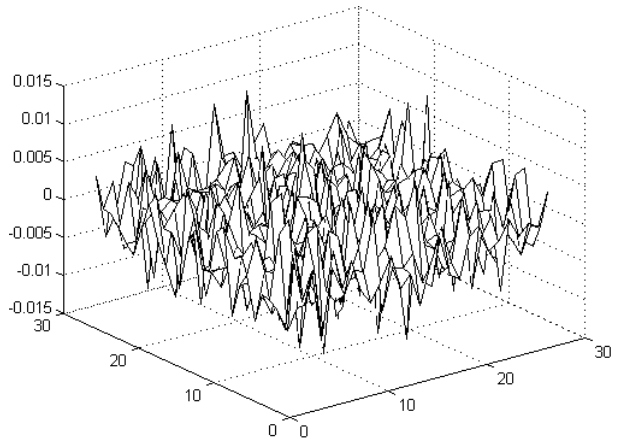
Figura 6.6. Filtro QUAL calculado para os 10 padrões de dígitos convoluído circularmente com cada um dos padrões originais, após ser utilizado o método proposto pela equação 6.14, com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(9)}$.

A figura 6.7 mostra ainda uma variação praticamente imperceptível a olho nu da forma-de-onda do filtro Θ_{QUAL}, antes e depois da aplicação do método proposto pela equação 6.14. Seguem alguns dados dos filtros:

- excursão do filtro Θ_{QUAL} original: de -0,0132 a +0,0129;
- excursão do filtro Θ_{QUAL} com $\mathbf{K} = \mathbf{K}^{(9)}$: de -0,0126 a +0,0127;
- excursão da diferença entre os filtros: de -0,0011 a +0,0011.



(a)



(b)

Figura 6.7. Filtro QUAL original calculado para os 10 padrões de dígitos (a) e filtro QUAL obtido usando o método proposto pela equação 6.14, com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(9)}$ (b).

6.4. Simulações

Para simular o método de redução da $DSNR_2$ cruzada, foram sintetizados computacionalmente 2 conjuntos de 10 imagens, onde cada imagem possui 20 ocorrências de um determinado padrão de dígito (de "0" a "9") corrompidas por um ruído aditivo de distribuição uniforme. Seguem algumas informações sobre o processo de síntese:

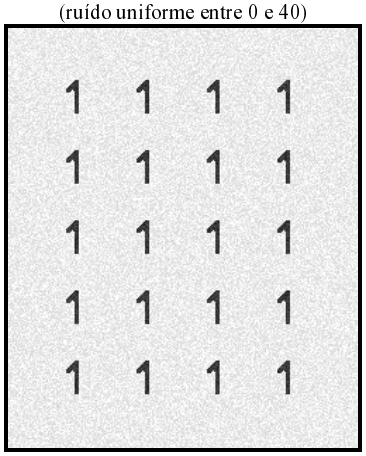
- nível de cinza do fundo: 0;
- nível de cinza do padrão: 180;
- ruído adicionado a cada imagem do primeiro conjunto: uniforme entre 0 a 40;
- ruído adicionado a cada imagem do segundo conjunto: uniforme entre 0 a 80;
- coordenadas das posições onde foram colocados os padrões: múltiplas de 50.

O critério arbitrado para a detecção, por simplicidade, obedeceu à seguinte regra:

1. toma-se, para cada pixel da imagem com coordenadas *(x,y)*, uma janela 27x27 ao seu redor;
2. convolui-se circularmente a janela com o filtro QUAL desejado;
3. calculam-se todas as $DSNR_2$ resultantes para cada um dos 10 padrões;
4. verifica-se que padrão α tem a ele associada a maior $DSNR_2$;
5. verifica-se se o quociente Q, entre essa $DSNR_2$ e a $DSNR_2(\alpha,\alpha)$ tabelada para o caso de não haver ruído, está acima de um limiar T;
6. acusa-se o padrão α em *(x,y)* caso $Q > T$ e não haver outro padrão detectado num raio de 30 pixels com um Q maior;
7. o padrão "1", quando detectado, tem a prioridade sobre os demais num raio de 30 pixels (o motivo para isto será explicado na discussão que precede a figura 6.10).

A seguir, seguem as simulações realizadas com o filtro QUAL original e também com o filtro QUAL modificado pela equação 6.14. As detecções com erro estão assinaladas com fundo em cinza.

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

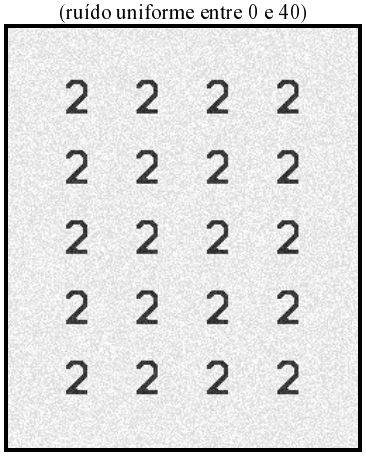
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0665  2:  0,0014  3:  0,0026  4:  0,0105  5:  0,0026
6:  0,0000  7:  0,0022  8:  0,0165  9:  0,0000  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0645  2:  0,0023  3:  0,0099  4:  0,0101  5:  0,0042
6:  0,0005  7:  0,0008  8:  0,0177  9:  0,0006  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0618  2:  0,0007  3:  0,0056  4:  0,0124  5:  0,0005
6:  0,0038  7:  0,0014  8:  0,0160  9:  0,0003  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0492  2:  0,0082  3:  0,0058  4:  0,0301  5:  0,0054
6:  0,0012  7:  0,0026  8:  0,0201  9:  0,0004  0:  0,0017

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0634  2:  0,0039  3:  0,0067  4:  0,0053  5:  0,0052
6:  0,0000  7:  0,0027  8:  0,0225  9:  0,0008  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0553  2:  0,0015  3:  0,0049  4:  0,0101  5:  0,0009
6:  0,0001  7:  0,0022  8:  0,0160  9:  0,0000  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0514  2:  0,0030  3:  0,0024  4:  0,0192  5:  0,0018
6:  0,0027  7:  0,0010  8:  0,0210  9:  0,0010  0:  0,0010

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0500  2:  0,0017  3:  0,0077  4:  0,0181  5:  0,0020
6:  0,0005  7:  0,0003  8:  0,0141  9:  0,0010  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0652  2:  0,0043  3:  0,0054  4:  0,0224  5:  0,0038
6:  0,0004  7:  0,0001  8:  0,0139  9:  0,0012  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0553  2:  0,0033  3:  0,0020  4:  0,0146  5:  0,0024
6:  0,0021  7:  0,0067  8:  0,0064  9:  0,0015  0:  0,0028

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0546  2:  0,0016  3:  0,0086  4:  0,0174  5:  0,0083
6:  0,0004  7:  0,0002  8:  0,0163  9:  0,0010  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0523  2:  0,0022  3:  0,0037  4:  0,0173  5:  0,0015
6:  0,0019  7:  0,0016  8:  0,0242  9:  0,0003  0:  0,0025

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0528  2:  0,0029  3:  0,0035  4:  0,0103  5:  0,0004
6:  0,0011  7:  0,0021  8:  0,0118  9:  0,0006  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0578  2:  0,0014  3:  0,0039  4:  0,0061  5:  0,0023
6:  0,0034  7:  0,0006  8:  0,0234  9:  0,0001  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0566  2:  0,0021  3:  0,0020  4:  0,0115  5:  0,0036
6:  0,0003  7:  0,0006  8:  0,0171  9:  0,0035  0:  0,0014

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0402  2:  0,0027  3:  0,0068  4:  0,0205  5:  0,0052
6:  0,0018  7:  0,0035  8:  0,0169  9:  0,0015  0:  0,0019

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0509  2:  0,0002  3:  0,0020  4:  0,0226  5:  0,0014
6:  0,0000  7:  0,0016  8:  0,0193  9:  0,0007  0:  0,0021

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0454  2:  0,0043  3:  0,0155  4:  0,0071  5:  0,0035
6:  0,0001  7:  0,0090  8:  0,0199  9:  0,0001  0:  0,0022

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0427  2:  0,0007  3:  0,0049  4:  0,0187  5:  0,0010
6:  0,0016  7:  0,0004  8:  0,0121  9:  0,0012  0:  0,0018

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0388  2:  0,0034  3:  0,0041  4:  0,0157  5:  0,0066
6:  0,0000  7:  0,0008  8:  0,0233  9:  0,0021  0:  0,0002
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0730  2:  0,0016  3:  0,0028  4:  0,0123  5:  0,0028
6:  0,0000  7:  0,0021  8:  0,0178  9:  0,0000  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0699  2:  0,0026  3:  0,0099  4:  0,0113  5:  0,0047
6:  0,0006  7:  0,0007  8:  0,0183  9:  0,0007  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0666  2:  0,0009  3:  0,0064  4:  0,0135  5:  0,0006
6:  0,0039  7:  0,0014  8:  0,0162  9:  0,0004  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0548  2:  0,0089  3:  0,0061  4:  0,0327  5:  0,0058
6:  0,0016  7:  0,0027  8:  0,0204  9:  0,0007  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0700  2:  0,0043  3:  0,0068  4:  0,0067  5:  0,0058
6:  0,0000  7:  0,0027  8:  0,0233  9:  0,0006  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0592  2:  0,0014  3:  0,0053  4:  0,0115  5:  0,0010
6:  0,0001  7:  0,0024  8:  0,0171  9:  0,0000  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0561  2:  0,0033  3:  0,0028  4:  0,0208  5:  0,0021
6:  0,0026  7:  0,0011  8:  0,0213  9:  0,0012  0:  0,0009

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0552  2:  0,0021  3:  0,0076  4:  0,0202  5:  0,0023
6:  0,0007  7:  0,0003  8:  0,0145  9:  0,0013  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0710  2:  0,0046  3:  0,0055  4:  0,0246  5:  0,0042
6:  0,0004  7:  0,0001  8:  0,0148  9:  0,0013  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0599  2:  0,0036  3:  0,0021  4:  0,0153  5:  0,0025
6:  0,0023  7:  0,0065  8:  0,0065  9:  0,0021  0:  0,0025

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0590  2:  0,0018  3:  0,0092  4:  0,0187  5:  0,0085
6:  0,0003  7:  0,0001  8:  0,0173  9:  0,0014  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0557  2:  0,0024  3:  0,0038  4:  0,0193  5:  0,0019
6:  0,0019  7:  0,0014  8:  0,0253  9:  0,0005  0:  0,0022

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0577  2:  0,0031  3:  0,0043  4:  0,0113  5:  0,0005
6:  0,0010  7:  0,0020  8:  0,0123  9:  0,0008  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0651  2:  0,0018  3:  0,0043  4:  0,0071  5:  0,0026
6:  0,0034  7:  0,0007  8:  0,0232  9:  0,0003  0:  0,0010

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0610  2:  0,0024  3:  0,0020  4:  0,0130  5:  0,0040
6:  0,0003  7:  0,0005  8:  0,0183  9:  0,0038  0:  0,0010

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0442  2:  0,0030  3:  0,0069  4:  0,0220  5:  0,0059
6:  0,0023  7:  0,0036  8:  0,0176  9:  0,0019  0:  0,0017

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0573  2:  0,0004  3:  0,0021  4:  0,0252  5:  0,0016
6:  0,0000  7:  0,0015  8:  0,0205  9:  0,0003  0:  0,0019

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0495  2:  0,0045  3:  0,0155  4:  0,0085  5:  0,0036
6:  0,0001  7:  0,0088  8:  0,0205  9:  0,0000  0:  0,0021

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0475  2:  0,0008  3:  0,0054  4:  0,0207  5:  0,0012
6:  0,0019  7:  0,0005  8:  0,0130  9:  0,0016  0:  0,0016

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0438  2:  0,0039  3:  0,0040  4:  0,0179  5:  0,0065
6:  0,0000  7:  0,0007  8:  0,0246  9:  0,0025  0:  0,0001
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

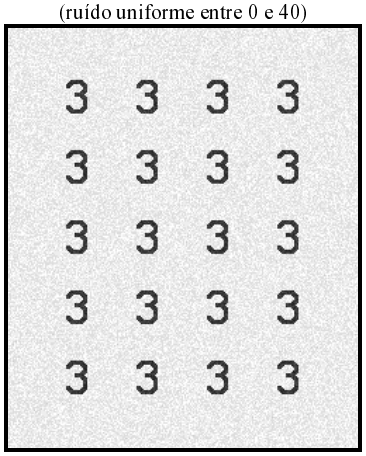
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0959  3:  0,0088  4:  0,0037  5:  0,0001
6:  0,0003  7:  0,0001  8:  0,0177  9:  0,0011  0:  0,0254

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0017  2:  0,1070  3:  0,0156  4:  0,0014  5:  0,0006
6:  0,0051  7:  0,0002  8:  0,0154  9:  0,0040  0:  0,0229

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0853  3:  0,0146  4:  0,0009  5:  0,0003
6:  0,0013  7:  0,0003  8:  0,0250  9:  0,0050  0:  0,0232

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0977  3:  0,0084  4:  0,0085  5:  0,0003
6:  0,0001  7:  0,0009  8:  0,0113  9:  0,0000  0:  0,0255

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0015  2:  0,1103  3:  0,0085  4:  0,0074  5:  0,0014
6:  0,0006  7:  0,0019  8:  0,0140  9:  0,0016  0:  0,0260

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0025  2:  0,0926  3:  0,0099  4:  0,0007  5:  0,0010
6:  0,0027  7:  0,0002  8:  0,0180  9:  0,0017  0:  0,0171

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0954  3:  0,0162  4:  0,0002  5:  0,0000
6:  0,0005  7:  0,0000  8:  0,0116  9:  0,0024  0:  0,0268

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0880  3:  0,0079  4:  0,0002  5:  0,0000
6:  0,0019  7:  0,0004  8:  0,0189  9:  0,0020  0:  0,0170

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0727  3:  0,0039  4:  0,0007  5:  0,0002
6:  0,0002  7:  0,0006  8:  0,0168  9:  0,0008  0:  0,0263

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0830  3:  0,0217  4:  0,0034  5:  0,0004
6:  0,0014  7:  0,0010  8:  0,0174  9:  0,0011  0:  0,0217

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0818  3:  0,0178  4:  0,0018  5:  0,0002
6:  0,0003  7:  0,0013  8:  0,0181  9:  0,0007  0:  0,0231

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,1031  3:  0,0188  4:  0,0003  5:  0,0001
6:  0,0006  7:  0,0005  8:  0,0194  9:  0,0015  0:  0,0333

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,1028  3:  0,0108  4:  0,0036  5:  0,0001
6:  0,0000  7:  0,0001  8:  0,0316  9:  0,0003  0:  0,0350

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0009  2:  0,0993  3:  0,0068  4:  0,0012  5:  0,0013
6:  0,0012  7:  0,0005  8:  0,0150  9:  0,0026  0:  0,0197

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0795  3:  0,0123  4:  0,0052  5:  0,0000
6:  0,0000  7:  0,0002  8:  0,0149  9:  0,0002  0:  0,0234

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0975  3:  0,0095  4:  0,0010  5:  0,0007
6:  0,0033  7:  0,0001  8:  0,0241  9:  0,0000  0:  0,0212

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,1057  3:  0,0181  4:  0,0031  5:  0,0013
6:  0,0004  7:  0,0008  8:  0,0227  9:  0,0013  0:  0,0350

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0987  3:  0,0098  4:  0,0001  5:  0,0007
6:  0,0006  7:  0,0029  8:  0,0133  9:  0,0016  0:  0,0314

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,1111  3:  0,0160  4:  0,0002  5:  0,0000
6:  0,0006  7:  0,0002  8:  0,0138  9:  0,0015  0:  0,0336

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0972  3:  0,0098  4:  0,0045  5:  0,0000
6:  0,0006  7:  0,0014  8:  0,0151  9:  0,0002  0:  0,0259
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0974  3:  0,0105  4:  0,0030  5:  0,0001
6:  0,0001  7:  0,0000  8:  0,0165  9:  0,0015  0:  0,0237

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
□
1:  0,0014  2:  0,1092  3:  0,0175  4:  0,0010  5:  0,0004
6:  0,0041  7:  0,0002  8:  0,0141  9:  0,0052  0:  0,0228

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0867  3:  0,0161  4:  0,0007  5:  0,0002
6:  0,0007  7:  0,0003  8:  0,0236  9:  0,0069  0:  0,0223

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,1003  3:  0,0096  4:  0,0078  5:  0,0002
6:  0,0000  7:  0,0008  8:  0,0106  9:  0,0001  0:  0,0242

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0012  2:  0,1132  3:  0,0097  4:  0,0065  5:  0,0013
6:  0,0003  7:  0,0017  8:  0,0134  9:  0,0026  0:  0,0254

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0022  2:  0,0940  3:  0,0116  4:  0,0004  5:  0,0010
6:  0,0019  7:  0,0001  8:  0,0175  9:  0,0027  0:  0,0169

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0973  3:  0,0180  4:  0,0002  5:  0,0000
6:  0,0001  7:  0,0000  8:  0,0108  9:  0,0034  0:  0,0264

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0908  3:  0,0092  4:  0,0001  5:  0,0000
6:  0,0012  7:  0,0003  8:  0,0181  9:  0,0030  0:  0,0163

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0745  3:  0,0049  4:  0,0006  5:  0,0002
6:  0,0000  7:  0,0005  8:  0,0157  9:  0,0015  0:  0,0258

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0842  3:  0,0238  4:  0,0030  5:  0,0003
6:  0,0007  7:  0,0009  8:  0,0162  9:  0,0021  0:  0,0212

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0833  3:  0,0197  4:  0,0013  5:  0,0003
6:  0,0001  7:  0,0012  8:  0,0165  9:  0,0013  0:  0,0232

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,1054  3:  0,0204  4:  0,0002  5:  0,0001
6:  0,0002  7:  0,0005  8:  0,0185  9:  0,0024  0:  0,0316

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,1043  3:  0,0127  4:  0,0032  5:  0,0001
6:  0,0001  7:  0,0001  8:  0,0302  9:  0,0008  0:  0,0340

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0007  2:  0,1001  3:  0,0078  4:  0,0010  5:  0,0011
6:  0,0006  7:  0,0004  8:  0,0138  9:  0,0038  0:  0,0194

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0006  2:  0,0823  3:  0,0146  4:  0,0047  5:  0,0000
6:  0,0000  7:  0,0001  8:  0,0137  9:  0,0000  0:  0,0220

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0997  3:  0,0113  4:  0,0008  5:  0,0007
6:  0,0024  7:  0,0001  8:  0,0229  9:  0,0002  0:  0,0201

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,1069  3:  0,0203  4:  0,0026  5:  0,0013
6:  0,0001  7:  0,0007  8:  0,0217  9:  0,0022  0:  0,0339

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,1022  3:  0,0116  4:  0,0000  5:  0,0006
6:  0,0002  7:  0,0025  8:  0,0126  9:  0,0024  0:  0,0301

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,1124  3:  0,0179  4:  0,0002  5:  0,0000
6:  0,0002  7:  0,0002  8:  0,0133  9:  0,0025  0:  0,0324

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0979  3:  0,0117  4:  0,0039  5:  0,0000
6:  0,0003  7:  0,0012  8:  0,0142  9:  0,0005  0:  0,0255
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

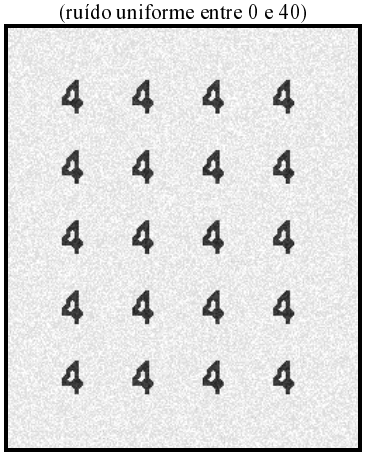
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0005  2:  0,0046  3:  0,0846  4:  0,0000  5:  0,0216
6:  0,0295  7:  0,0034  8:  0,0622  9:  0,0205  0:  0,0492

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0096  3:  0,0934  4:  0,0007  5:  0,0274
6:  0,0275  7:  0,0000  8:  0,0691  9:  0,0462  0:  0,0483

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0044  3:  0,0993  4:  0,0000  5:  0,0162
6:  0,0248  7:  0,0034  8:  0,0640  9:  0,0445  0:  0,0621

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0012  2:  0,0087  3:  0,1071  4:  0,0001  5:  0,0197
6:  0,0183  7:  0,0020  8:  0,0727  9:  0,0314  0:  0,0486

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0103  3:  0,0847  4:  0,0000  5:  0,0181
6:  0,0217  7:  0,0004  8:  0,0681  9:  0,0366  0:  0,0549

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0011  2:  0,0020  3:  0,0730  4:  0,0003  5:  0,0254
6:  0,0353  7:  0,0027  8:  0,0599  9:  0,0446  0:  0,0488

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0058  3:  0,0857  4:  0,0001  5:  0,0143
6:  0,0193  7:  0,0003  8:  0,0619  9:  0,0444  0:  0,0564

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0057  3:  0,0821  4:  0,0012  5:  0,0209
6:  0,0230  7:  0,0021  8:  0,0747  9:  0,0335  0:  0,0459

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0058  3:  0,0869  4:  0,0000  5:  0,0144
6:  0,0276  7:  0,0020  8:  0,0631  9:  0,0341  0:  0,0381

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0007  2:  0,0019  3:  0,0888  4:  0,0001  5:  0,0249
6:  0,0267  7:  0,0028  8:  0,0759  9:  0,0239  0:  0,0524

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0011  2:  0,0039  3:  0,0923  4:  0,0021  5:  0,0192
6:  0,0246  7:  0,0005  8:  0,0565  9:  0,0291  0:  0,0434

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0010  2:  0,0040  3:  0,1028  4:  0,0005  5:  0,0192
6:  0,0216  7:  0,0044  8:  0,0706  9:  0,0347  0:  0,0386

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0013  2:  0,0106  3:  0,1002  4:  0,0002  5:  0,0171
6:  0,0161  7:  0,0006  8:  0,0766  9:  0,0296  0:  0,0388

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0007  2:  0,0018  3:  0,0814  4:  0,0010  5:  0,0235
6:  0,0250  7:  0,0038  8:  0,0527  9:  0,0303  0:  0,0512

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0002  3:  0,0779  4:  0,0024  5:  0,0129
6:  0,0172  7:  0,0007  8:  0,0637  9:  0,0217  0:  0,0470

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0032  3:  0,0862  4:  0,0000  5:  0,0178
6:  0,0229  7:  0,0016  8:  0,0738  9:  0,0332  0:  0,0379

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0085  3:  0,0687  4:  0,0000  5:  0,0200
6:  0,0272  7:  0,0006  8:  0,0646  9:  0,0438  0:  0,0489

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0034  3:  0,0904  4:  0,0003  5:  0,0180
6:  0,0389  7:  0,0008  8:  0,0643  9:  0,0234  0:  0,0384

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0059  3:  0,0852  4:  0,0002  5:  0,0190
6:  0,0257  7:  0,0030  8:  0,0606  9:  0,0347  0:  0,0538

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0064  3:  0,0949  4:  0,0001  5:  0,0165
6:  0,0198  7:  0,0041  8:  0,0767  9:  0,0266  0:  0,0509
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0004  2:  0,0047  3:  0,0910  4:  0,0000  5:  0,0240
6:  0,0217  7:  0,0038  8:  0,0513  9:  0,0263  0:  0,0474

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0100  3:  0,0998  4:  0,0008  5:  0,0292
6:  0,0200  7:  0,0000  8:  0,0560  9:  0,0533  0:  0,0475

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0046  3:  0,1045  4:  0,0000  5:  0,0181
6:  0,0180  7:  0,0033  8:  0,0529  9:  0,0518  0:  0,0614

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0010  2:  0,0093  3:  0,1138  4:  0,0001  5:  0,0214
6:  0,0122  7:  0,0018  8:  0,0593  9:  0,0383  0:  0,0473

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0102  3:  0,0910  4:  0,0000  5:  0,0197
6:  0,0146  7:  0,0005  8:  0,0570  9:  0,0426  0:  0,0532

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0008  2:  0,0021  3:  0,0798  4:  0,0004  5:  0,0276
6:  0,0266  7:  0,0028  8:  0,0498  9:  0,0524  0:  0,0479

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0062  3:  0,0920  4:  0,0001  5:  0,0161
6:  0,0131  7:  0,0003  8:  0,0519  9:  0,0517  0:  0,0540

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0060  3:  0,0885  4:  0,0013  5:  0,0228
6:  0,0163  7:  0,0022  8:  0,0637  9:  0,0405  0:  0,0446

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0059  3:  0,0944  4:  0,0000  5:  0,0162
6:  0,0200  7:  0,0022  8:  0,0520  9:  0,0400  0:  0,0377

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0005  2:  0,0021  3:  0,0951  4:  0,0001  5:  0,0267
6:  0,0187  7:  0,0030  8:  0,0629  9:  0,0294  0:  0,0510

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0010  2:  0,0043  3:  0,0987  4:  0,0023  5:  0,0213
6:  0,0175  7:  0,0006  8:  0,0463  9:  0,0345  0:  0,0425

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0042  3:  0,1098  4:  0,0005  5:  0,0209
6:  0,0147  7:  0,0046  8:  0,0590  9:  0,0414  0:  0,0372

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0010  2:  0,0111  3:  0,1051  4:  0,0002  5:  0,0191
6:  0,0105  7:  0,0005  8:  0,0646  9:  0,0356  0:  0,0378

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0006  2:  0,0020  3:  0,0876  4:  0,0012  5:  0,0260
6:  0,0183  7:  0,0039  8:  0,0432  9:  0,0371  0:  0,0497

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0003  3:  0,0841  4:  0,0025  5:  0,0143
6:  0,0111  7:  0,0008  8:  0,0529  9:  0,0268  0:  0,0461

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0037  3:  0,0918  4:  0,0000  5:  0,0203
6:  0,0159  7:  0,0018  8:  0,0612  9:  0,0395  0:  0,0373

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0082  3:  0,0744  4:  0,0000  5:  0,0223
6:  0,0197  7:  0,0007  8:  0,0536  9:  0,0509  0:  0,0477

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0038  3:  0,0965  4:  0,0003  5:  0,0206
6:  0,0292  7:  0,0010  8:  0,0533  9:  0,0287  0:  0,0370

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0058  3:  0,0915  4:  0,0002  5:  0,0213
6:  0,0177  7:  0,0029  8:  0,0491  9:  0,0415  0:  0,0528

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0062  3:  0,1022  4:  0,0001  5:  0,0184
6:  0,0135  7:  0,0040  8:  0,0630  9:  0,0325  0:  0,0492
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

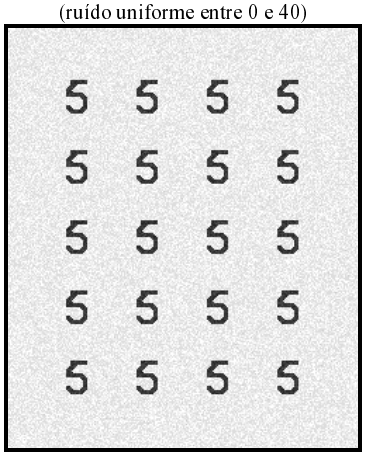
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0298  2:  0,0000  3:  0,0097  4:  0,1133  5:  0,0008
6:  0,0011  7:  0,0053  8:  0,0037  9:  0,0025  0:  0,0021

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0289  2:  0,0000  3:  0,0096  4:  0,1086  5:  0,0013
6:  0,0002  7:  0,0052  8:  0,0025  9:  0,0006  0:  0,0031

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0311  2:  0,0009  3:  0,0183  4:  0,1011  5:  0,0027
6:  0,0018  7:  0,0021  8:  0,0045  9:  0,0015  0:  0,0012

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0268  2:  0,0001  3:  0,0112  4:  0,1238  5:  0,0009
6:  0,0008  7:  0,0111  8:  0,0025  9:  0,0004  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0245  2:  0,0006  3:  0,0055  4:  0,1357  5:  0,0016
6:  0,0027  7:  0,0086  8:  0,0034  9:  0,0005  0:  0,0024

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0207  2:  0,0000  3:  0,0075  4:  0,1372  5:  0,0027
6:  0,0000  7:  0,0047  8:  0,0051  9:  0,0003  0:  0,0025

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0200  2:  0,0004  3:  0,0111  4:  0,1220  5:  0,0026
6:  0,0000  7:  0,0046  8:  0,0067  9:  0,0001  0:  0,0020

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0196  2:  0,0003  3:  0,0035  4:  0,1224  5:  0,0020
6:  0,0004  7:  0,0071  8:  0,0095  9:  0,0029  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0263  2:  0,0007  3:  0,0050  4:  0,1127  5:  0,0021
6:  0,0012  7:  0,0071  8:  0,0060  9:  0,0012  0:  0,0021

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0239  2:  0,0035  3:  0,0096  4:  0,0973  5:  0,0007
6:  0,0000  7:  0,0043  8:  0,0097  9:  0,0016  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0237  2:  0,0013  3:  0,0069  4:  0,0958  5:  0,0032
6:  0,0013  7:  0,0094  8:  0,0041  9:  0,0006  0:  0,0020

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0256  2:  0,0006  3:  0,0112  4:  0,0957  5:  0,0041
6:  0,0002  7:  0,0126  8:  0,0030  9:  0,0003  0:  0,0009

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0223  2:  0,0001  3:  0,0086  4:  0,1180  5:  0,0020
6:  0,0000  7:  0,0062  8:  0,0061  9:  0,0034  0:  0,0021

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0192  2:  0,0000  3:  0,0077  4:  0,1130  5:  0,0063
6:  0,0010  7:  0,0065  8:  0,0033  9:  0,0000  0:  0,0028

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0243  2:  0,0003  3:  0,0068  4:  0,1038  5:  0,0018
6:  0,0003  7:  0,0102  8:  0,0063  9:  0,0016  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0191  2:  0,0013  3:  0,0140  4:  0,0849  5:  0,0039
6:  0,0001  7:  0,0065  8:  0,0049  9:  0,0007  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0253  2:  0,0014  3:  0,0023  4:  0,1044  5:  0,0007
6:  0,0002  7:  0,0038  8:  0,0070  9:  0,0020  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0239  2:  0,0007  3:  0,0114  4:  0,1123  5:  0,0033
6:  0,0007  7:  0,0053  8:  0,0097  9:  0,0001  0:  0,0028

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0202  2:  0,0012  3:  0,0079  4:  0,0974  5:  0,0008
6:  0,0001  7:  0,0092  8:  0,0034  9:  0,0023  0:  0,0016

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0334  2:  0,0004  3:  0,0036  4:  0,1118  5:  0,0042
6:  0,0029  7:  0,0058  8:  0,0039  9:  0,0003  0:  0,0014
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0321  2:  0,0001  3:  0,0092  4:  0,1117  5:  0,0010
6:  0,0010  7:  0,0053  8:  0,0042  9:  0,0017  0:  0,0023

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0308  2:  0,0000  3:  0,0094  4:  0,1052  5:  0,0015
6:  0,0003  7:  0,0054  8:  0,0029  9:  0,0002  0:  0,0033

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0338  2:  0,0011  3:  0,0171  4:  0,1003  5:  0,0031
6:  0,0016  7:  0,0023  8:  0,0051  9:  0,0009  0:  0,0013

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0287  2:  0,0001  3:  0,0099  4:  0,1240  5:  0,0012
6:  0,0008  7:  0,0109  8:  0,0029  9:  0,0002  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0268  2:  0,0007  3:  0,0050  4:  0,1347  5:  0,0019
6:  0,0024  7:  0,0087  8:  0,0041  9:  0,0002  0:  0,0027

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0220  2:  0,0001  3:  0,0071  4:  0,1364  5:  0,0030
6:  0,0000  7:  0,0048  8:  0,0059  9:  0,0001  0:  0,0028

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0214  2:  0,0006  3:  0,0108  4:  0,1211  5:  0,0029
6:  0,0000  7:  0,0045  8:  0,0073  9:  0,0000  0:  0,0020

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0214  2:  0,0004  3:  0,0033  4:  0,1219  5:  0,0023
6:  0,0004  7:  0,0071  8:  0,0108  9:  0,0022  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0284  2:  0,0010  3:  0,0048  4:  0,1102  5:  0,0022
6:  0,0010  7:  0,0072  8:  0,0067  9:  0,0006  0:  0,0021

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0257  2:  0,0041  3:  0,0093  4:  0,0961  5:  0,0009
6:  0,0000  7:  0,0044  8:  0,0105  9:  0,0009  0:  0,0018

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0249  2:  0,0016  3:  0,0061  4:  0,0942  5:  0,0035
6:  0,0012  7:  0,0101  8:  0,0049  9:  0,0003  0:  0,0022

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0278  2:  0,0004  3:  0,0105  4:  0,0928  5:  0,0041
6:  0,0001  7:  0,0127  8:  0,0035  9:  0,0001  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0237  2:  0,0002  3:  0,0078  4:  0,1178  5:  0,0021
6:  0,0000  7:  0,0065  8:  0,0069  9:  0,0024  0:  0,0025

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0212  2:  0,0000  3:  0,0073  4:  0,1117  5:  0,0066
6:  0,0010  7:  0,0065  8:  0,0039  9:  0,0000  0:  0,0029

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0258  2:  0,0004  3:  0,0062  4:  0,1019  5:  0,0019
6:  0,0004  7:  0,0105  8:  0,0073  9:  0,0010  0:  0,0018

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0210  2:  0,0018  3:  0,0132  4:  0,0834  5:  0,0044
6:  0,0001  7:  0,0067  8:  0,0055  9:  0,0004  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0271  2:  0,0017  3:  0,0022  4:  0,1026  5:  0,0008
6:  0,0002  7:  0,0038  8:  0,0077  9:  0,0013  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0263  2:  0,0007  3:  0,0106  4:  0,1115  5:  0,0035
6:  0,0005  7:  0,0052  8:  0,0105  9:  0,0000  0:  0,0031

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0218  2:  0,0014  3:  0,0075  4:  0,0967  5:  0,0008
6:  0,0001  7:  0,0095  8:  0,0040  9:  0,0014  0:  0,0018

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0349  2:  0,0006  3:  0,0031  4:  0,1096  5:  0,0046
6:  0,0027  7:  0,0059  8:  0,0047  9:  0,0001  0:  0,0015
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

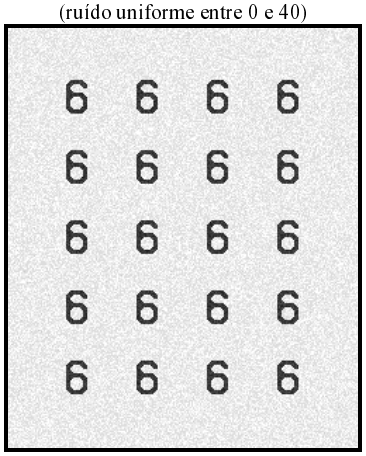
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0046  2:  0,0012  3:  0,0110  4:  0,0175  5:  0,0640
6:  0,0117  7:  0,0015  8:  0,0041  9:  0,0306  0:  0,0018

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0036  2:  0,0020  3:  0,0147  4:  0,0285  5:  0,0647
6:  0,0239  7:  0,0008  8:  0,0044  9:  0,0260  0:  0,0014

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0070  2:  0,0020  3:  0,0100  4:  0,0250  5:  0,0697
6:  0,0132  7:  0,0016  8:  0,0080  9:  0,0118  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0051  2:  0,0040  3:  0,0144  4:  0,0154  5:  0,0678
6:  0,0165  7:  0,0000  8:  0,0057  9:  0,0134  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0028  2:  0,0026  3:  0,0138  4:  0,0133  5:  0,0512
6:  0,0136  7:  0,0002  8:  0,0129  9:  0,0147  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0026  2:  0,0015  3:  0,0139  4:  0,0216  5:  0,0580
6:  0,0166  7:  0,0015  8:  0,0066  9:  0,0233  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0035  2:  0,0020  3:  0,0108  4:  0,0216  5:  0,0822
6:  0,0145  7:  0,0014  8:  0,0048  9:  0,0203  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0043  2:  0,0015  3:  0,0048  4:  0,0156  5:  0,0648
6:  0,0167  7:  0,0000  8:  0,0009  9:  0,0208  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0058  2:  0,0001  3:  0,0077  4:  0,0207  5:  0,0693
6:  0,0199  7:  0,0008  8:  0,0048  9:  0,0237  0:  0,0009

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0039  2:  0,0011  3:  0,0134  4:  0,0117  5:  0,0579
6:  0,0199  7:  0,0015  8:  0,0055  9:  0,0196  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0023  2:  0,0005  3:  0,0174  4:  0,0111  5:  0,0844
6:  0,0198  7:  0,0000  8:  0,0053  9:  0,0143  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0039  2:  0,0006  3:  0,0181  4:  0,0128  5:  0,0705
6:  0,0211  7:  0,0000  8:  0,0106  9:  0,0193  0:  0,0024

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0004  3:  0,0082  4:  0,0139  5:  0,0538
6:  0,0177  7:  0,0003  8:  0,0024  9:  0,0231  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0036  2:  0,0020  3:  0,0178  4:  0,0086  5:  0,0951
6:  0,0104  7:  0,0008  8:  0,0108  9:  0,0155  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0020  2:  0,0030  3:  0,0151  4:  0,0149  5:  0,0798
6:  0,0095  7:  0,0002  8:  0,0048  9:  0,0170  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0018  2:  0,0020  3:  0,0195  4:  0,0191  5:  0,0591
6:  0,0119  7:  0,0007  8:  0,0034  9:  0,0101  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0050  2:  0,0027  3:  0,0148  4:  0,0168  5:  0,0663
6:  0,0140  7:  0,0001  8:  0,0023  9:  0,0181  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0042  2:  0,0038  3:  0,0071  4:  0,0265  5:  0,0663
6:  0,0121  7:  0,0023  8:  0,0022  9:  0,0196  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0018  2:  0,0002  3:  0,0172  4:  0,0179  5:  0,0637
6:  0,0145  7:  0,0000  8:  0,0038  9:  0,0096  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0022  2:  0,0005  3:  0,0104  4:  0,0231  5:  0,0616
6:  0,0169  7:  0,0016  8:  0,0051  9:  0,0175  0:  0,0021
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0047  2:  0,0011  3:  0,0120  4:  0,0180  5:  0,0750
6:  0,0074  7:  0,0019  8:  0,0024  9:  0,0360  0:  0,0019

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0040  2:  0,0021  3:  0,0149  4:  0,0281  5:  0,0752
6:  0,0164  7:  0,0011  8:  0,0033  9:  0,0298  0:  0,0013

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0073  2:  0,0020  3:  0,0105  4:  0,0255  5:  0,0803
6:  0,0089  7:  0,0020  8:  0,0065  9:  0,0137  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0050  2:  0,0037  3:  0,0150  4:  0,0159  5:  0,0787
6:  0,0117  7:  0,0000  8:  0,0041  9:  0,0156  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0030  2:  0,0025  3:  0,0141  4:  0,0138  5:  0,0611
6:  0,0089  7:  0,0004  8:  0,0109  9:  0,0170  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0025  2:  0,0013  3:  0,0145  4:  0,0212  5:  0,0683
6:  0,0114  7:  0,0018  8:  0,0049  9:  0,0267  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0038  2:  0,0017  3:  0,0112  4:  0,0217  5:  0,0942
6:  0,0096  7:  0,0020  8:  0,0034  9:  0,0232  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0043  2:  0,0014  3:  0,0050  4:  0,0154  5:  0,0748
6:  0,0116  7:  0,0000  8:  0,0003  9:  0,0233  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0057  2:  0,0001  3:  0,0080  4:  0,0200  5:  0,0805
6:  0,0136  7:  0,0009  8:  0,0034  9:  0,0272  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0039  2:  0,0009  3:  0,0145  4:  0,0112  5:  0,0678
6:  0,0140  7:  0,0019  8:  0,0039  9:  0,0226  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0022  2:  0,0005  3:  0,0177  4:  0,0108  5:  0,0973
6:  0,0140  7:  0,0001  8:  0,0038  9:  0,0171  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0041  2:  0,0005  3:  0,0180  4:  0,0129  5:  0,0818
6:  0,0151  7:  0,0000  8:  0,0082  9:  0,0224  0:  0,0026

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0003  2:  0,0003  3:  0,0092  4:  0,0137  5:  0,0636
6:  0,0124  7:  0,0004  8:  0,0014  9:  0,0264  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0036  2:  0,0020  3:  0,0186  4:  0,0082  5:  0,1069
6:  0,0062  7:  0,0010  8:  0,0085  9:  0,0184  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0019  2:  0,0032  3:  0,0155  4:  0,0146  5:  0,0914
6:  0,0055  7:  0,0005  8:  0,0035  9:  0,0202  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0019  2:  0,0018  3:  0,0200  4:  0,0189  5:  0,0693
6:  0,0076  7:  0,0011  8:  0,0024  9:  0,0125  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0050  2:  0,0026  3:  0,0156  4:  0,0166  5:  0,0773
6:  0,0093  7:  0,0002  8:  0,0014  9:  0,0210  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0046  2:  0,0038  3:  0,0076  4:  0,0269  5:  0,0776
6:  0,0080  7:  0,0029  8:  0,0015  9:  0,0221  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0019  2:  0,0002  3:  0,0177  4:  0,0177  5:  0,0748
6:  0,0094  7:  0,0001  8:  0,0027  9:  0,0117  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0022  2:  0,0004  3:  0,0107  4:  0,0234  5:  0,0719
6:  0,0126  7:  0,0022  8:  0,0037  9:  0,0203  0:  0,0022
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

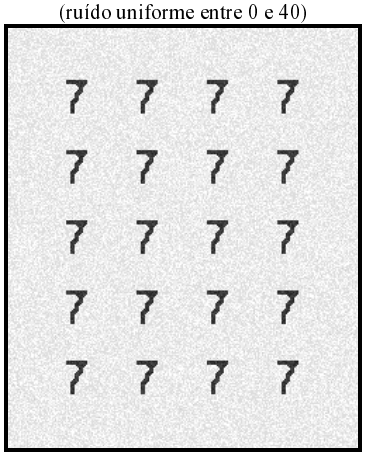
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0010  3:  0,0361  4:  0,0049  5:  0,0250
6:  0,0964  7:  0,0006  8:  0,0462  9:  0,0159  0:  0,0209

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0019  3:  0,0338  4:  0,0033  5:  0,0289
6:  0,0751  7:  0,0001  8:  0,0396  9:  0,0185  0:  0,0248

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0015  3:  0,0281  4:  0,0059  5:  0,0204
6:  0,0921  7:  0,0011  8:  0,0484  9:  0,0190  0:  0,0337

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0008  2:  0,0000  3:  0,0371  4:  0,0064  5:  0,0229
6:  0,1040  7:  0,0005  8:  0,0424  9:  0,0131  0:  0,0275

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0003  2:  0,0011  3:  0,0287  4:  0,0080  5:  0,0206
6:  0,0735  7:  0,0000  8:  0,0381  9:  0,0195  0:  0,0206

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0032  3:  0,0375  4:  0,0044  5:  0,0253
6:  0,1092  7:  0,0000  8:  0,0359  9:  0,0166  0:  0,0258

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0019  3:  0,0315  4:  0,0066  5:  0,0290
6:  0,0764  7:  0,0016  8:  0,0299  9:  0,0285  0:  0,0251

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0010  3:  0,0344  4:  0,0036  5:  0,0232
6:  0,0791  7:  0,0010  8:  0,0435  9:  0,0204  0:  0,0326

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0001  3:  0,0351  4:  0,0056  5:  0,0178
6:  0,0791  7:  0,0003  8:  0,0430  9:  0,0192  0:  0,0346

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0013  2:  0,0004  3:  0,0311  4:  0,0053  5:  0,0222
6:  0,0863  7:  0,0003  8:  0,0497  9:  0,0143  0:  0,0250

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0018  3:  0,0502  4:  0,0034  5:  0,0221
6:  0,0882  7:  0,0008  8:  0,0362  9:  0,0110  0:  0,0425

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0017  3:  0,0328  4:  0,0074  5:  0,0325
6:  0,1055  7:  0,0001  8:  0,0385  9:  0,0234  0:  0,0263

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0003  3:  0,0429  4:  0,0043  5:  0,0319
6:  0,0985  7:  0,0001  8:  0,0340  9:  0,0197  0:  0,0259

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0002  2:  0,0001  3:  0,0393  4:  0,0091  5:  0,0264
6:  0,1085  7:  0,0000  8:  0,0345  9:  0,0200  0:  0,0393

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0009  3:  0,0406  4:  0,0074  5:  0,0227
6:  0,1161  7:  0,0008  8:  0,0324  9:  0,0228  0:  0,0288

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0009  3:  0,0323  4:  0,0037  5:  0,0248
6:  0,0903  7:  0,0003  8:  0,0368  9:  0,0335  0:  0,0381

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0023  2:  0,0000  3:  0,0284  4:  0,0043  5:  0,0123
6:  0,0992  7:  0,0001  8:  0,0266  9:  0,0186  0:  0,0234

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0022  2:  0,0019  3:  0,0382  4:  0,0010  5:  0,0313
6:  0,0798  7:  0,0000  8:  0,0445  9:  0,0176  0:  0,0389

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0007  2:  0,0000  3:  0,0280  4:  0,0008  5:  0,0338
6:  0,1109  7:  0,0000  8:  0,0399  9:  0,0158  0:  0,0374

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0004  3:  0,0335  4:  0,0046  5:  0,0245
6:  0,0900  7:  0,0003  8:  0,0455  9:  0,0211  0:  0,0376
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0009  3:  0,0410  4:  0,0043  5:  0,0268
6:  0,0715  7:  0,0007  8:  0,0378  9:  0,0189  0:  0,0210

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0018  3:  0,0388  4:  0,0031  5:  0,0312
6:  0,0527  7:  0,0001  8:  0,0324  9:  0,0223  0:  0,0247

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0014  3:  0,0329  4:  0,0054  5:  0,0225
6:  0,0666  7:  0,0012  8:  0,0395  9:  0,0230  0:  0,0339

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0008  2:  0,0000  3:  0,0425  4:  0,0056  5:  0,0252
6:  0,0782  7:  0,0007  8:  0,0342  9:  0,0160  0:  0,0277

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0011  3:  0,0330  4:  0,0069  5:  0,0230
6:  0,0523  7:  0,0001  8:  0,0310  9:  0,0235  0:  0,0207

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0029  3:  0,0419  4:  0,0040  5:  0,0281
6:  0,0829  7:  0,0001  8:  0,0301  9:  0,0197  0:  0,0266

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0020  3:  0,0356  4:  0,0056  5:  0,0320
6:  0,0531  7:  0,0018  8:  0,0223  9:  0,0328  0:  0,0249

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0010  3:  0,0390  4:  0,0030  5:  0,0251
6:  0,0558  7:  0,0010  8:  0,0357  9:  0,0238  0:  0,0326

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0001  3:  0,0398  4:  0,0050  5:  0,0198
6:  0,0567  7:  0,0004  8:  0,0347  9:  0,0225  0:  0,0350

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0013  2:  0,0004  3:  0,0348  4:  0,0045  5:  0,0240
6:  0,0619  7:  0,0004  8:  0,0406  9:  0,0171  0:  0,0255

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0017  3:  0,0550  4:  0,0026  5:  0,0235
6:  0,0639  7:  0,0010  8:  0,0299  9:  0,0143  0:  0,0405

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0016  3:  0,0369  4:  0,0064  5:  0,0356
6:  0,0784  7:  0,0002  8:  0,0308  9:  0,0275  0:  0,0266

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0004  3:  0,0487  4:  0,0039  5:  0,0344
6:  0,0724  7:  0,0001  8:  0,0270  9:  0,0236  0:  0,0259

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0001  3:  0,0449  4:  0,0081  5:  0,0293
6:  0,0810  7:  0,0000  8:  0,0279  9:  0,0239  0:  0,0393

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0010  3:  0,0459  4:  0,0061  5:  0,0245
6:  0,0863  7:  0,0010  8:  0,0256  9:  0,0274  0:  0,0290

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0007  3:  0,0375  4:  0,0033  5:  0,0267
6:  0,0656  7:  0,0003  8:  0,0288  9:  0,0390  0:  0,0380

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0022  2:  0,0000  3:  0,0335  4:  0,0035  5:  0,0144
6:  0,0723  7:  0,0000  8:  0,0202  9:  0,0215  0:  0,0243

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0023  2:  0,0019  3:  0,0421  4:  0,0006  5:  0,0336
6:  0,0559  7:  0,0000  8:  0,0366  9:  0,0212  0:  0,0378

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0007  2:  0,0000  3:  0,0326  4:  0,0006  5:  0,0365
6:  0,0831  7:  0,0000  8:  0,0326  9:  0,0190  0:  0,0373

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0003  3:  0,0374  4:  0,0038  5:  0,0266
6:  0,0662  7:  0,0003  8:  0,0379  9:  0,0256  0:  0,0377
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

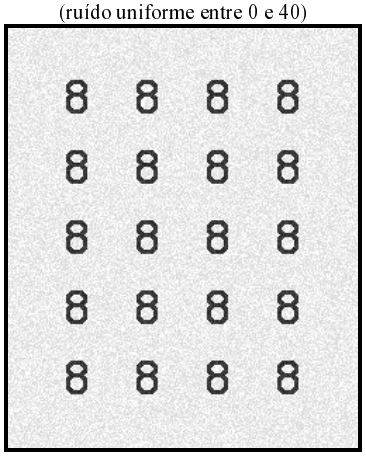
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0009  2:  0,0001  3:  0,0018  4:  0,0000  5:  0,0030
6:  0,0017  7:  0,0781  8:  0,0001  9:  0,0096  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0008  2:  0,0015  3:  0,0000  4:  0,0002  5:  0,0050
6:  0,0013  7:  0,0687  8:  0,0000  9:  0,0097  0:  0,0022

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0005  2:  0,0008  3:  0,0000  4:  0,0002  5:  0,0063
6:  0,0022  7:  0,1015  8:  0,0008  9:  0,0118  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0000  3:  0,0010  4:  0,0034  5:  0,0118
6:  0,0010  7:  0,0715  8:  0,0002  9:  0,0051  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0004  3:  0,0001  4:  0,0002  5:  0,0147
6:  0,0014  7:  0,0851  8:  0,0000  9:  0,0061  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0002  2:  0,0008  3:  0,0004  4:  0,0017  5:  0,0164
6:  0,0021  7:  0,0779  8:  0,0001  9:  0,0118  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0000  3:  0,0002  4:  0,0001  5:  0,0067
6:  0,0026  7:  0,0887  8:  0,0001  9:  0,0032  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0007  2:  0,0021  3:  0,0001  4:  0,0003  5:  0,0210
6:  0,0020  7:  0,0795  8:  0,0007  9:  0,0159  0:  0,0028

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0007  2:  0,0012  3:  0,0009  4:  0,0002  5:  0,0047
6:  0,0020  7:  0,0778  8:  0,0000  9:  0,0080  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0009  2:  0,0000  3:  0,0000  4:  0,0002  5:  0,0192
6:  0,0018  7:  0,0693  8:  0,0004  9:  0,0148  0:  0,0013

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0035  3:  0,0004  4:  0,0012  5:  0,0127
6:  0,0056  7:  0,0884  8:  0,0025  9:  0,0138  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0037  3:  0,0001  4:  0,0007  5:  0,0126
6:  0,0002  7:  0,0734  8:  0,0011  9:  0,0031  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0036  3:  0,0003  4:  0,0000  5:  0,0130
6:  0,0022  7:  0,0953  8:  0,0000  9:  0,0104  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0009  2:  0,0000  3:  0,0006  4:  0,0002  5:  0,0111
6:  0,0026  7:  0,0760  8:  0,0008  9:  0,0068  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0017  3:  0,0006  4:  0,0000  5:  0,0077
6:  0,0040  7:  0,0736  8:  0,0006  9:  0,0115  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0017  3:  0,0003  4:  0,0021  5:  0,0118
6:  0,0000  7:  0,0730  8:  0,0002  9:  0,0187  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0029  2:  0,0029  3:  0,0003  4:  0,0002  5:  0,0073
6:  0,0075  7:  0,0690  8:  0,0003  9:  0,0091  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0022  2:  0,0004  3:  0,0020  4:  0,0006  5:  0,0065
6:  0,0014  7:  0,0734  8:  0,0000  9:  0,0085  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0014  3:  0,0003  4:  0,0006  5:  0,0096
6:  0,0029  7:  0,0724  8:  0,0003  9:  0,0074  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0013  3:  0,0017  4:  0,0003  5:  0,0057
6:  0,0012  7:  0,0670  8:  0,0001  9:  0,0163  0:  0,0004
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0007  2:  0,0001  3:  0,0018  4:  0,0000  5:  0,0034
6:  0,0018  7:  0,0809  8:  0,0001  9:  0,0092  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0007  2:  0,0016  3:  0,0000  4:  0,0001  5:  0,0059
6:  0,0013  7:  0,0702  8:  0,0000  9:  0,0096  0:  0,0023

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0009  3:  0,0000  4:  0,0002  5:  0,0073
6:  0,0022  7:  0,1035  8:  0,0009  9:  0,0114  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0000  3:  0,0012  4:  0,0034  5:  0,0123
6:  0,0012  7:  0,0727  8:  0,0002  9:  0,0051  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0004  3:  0,0001  4:  0,0001  5:  0,0158
6:  0,0016  7:  0,0869  8:  0,0001  9:  0,0057  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0009  3:  0,0004  4:  0,0017  5:  0,0170
6:  0,0021  7:  0,0800  8:  0,0001  9:  0,0116  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0000  3:  0,0003  4:  0,0001  5:  0,0076
6:  0,0030  7:  0,0903  8:  0,0002  9:  0,0030  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0005  2:  0,0021  3:  0,0002  4:  0,0002  5:  0,0216
6:  0,0022  7:  0,0805  8:  0,0008  9:  0,0153  0:  0,0032

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0006  2:  0,0013  3:  0,0010  4:  0,0002  5:  0,0052
6:  0,0021  7:  0,0802  8:  0,0001  9:  0,0079  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0006  2:  0,0001  3:  0,0001  4:  0,0001  5:  0,0199
6:  0,0022  7:  0,0710  8:  0,0005  9:  0,0143  0:  0,0013

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0033  3:  0,0005  4:  0,0010  5:  0,0133
6:  0,0062  7:  0,0901  8:  0,0027  9:  0,0135  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0036  3:  0,0001  4:  0,0005  5:  0,0139
6:  0,0003  7:  0,0739  8:  0,0012  9:  0,0030  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0035  3:  0,0004  4:  0,0000  5:  0,0141
6:  0,0026  7:  0,0969  8:  0,0000  9:  0,0101  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0006  2:  0,0001  3:  0,0008  4:  0,0001  5:  0,0118
6:  0,0029  7:  0,0769  8:  0,0010  9:  0,0062  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0017  3:  0,0007  4:  0,0000  5:  0,0082
6:  0,0042  7:  0,0755  8:  0,0008  9:  0,0113  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0018  3:  0,0004  4:  0,0019  5:  0,0122
6:  0,0001  7:  0,0753  8:  0,0003  9:  0,0181  0:  0,0009

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0024  2:  0,0031  3:  0,0004  4:  0,0001  5:  0,0078
6:  0,0075  7:  0,0719  8:  0,0003  9:  0,0088  0:  0,0010

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0018  2:  0,0004  3:  0,0021  4:  0,0005  5:  0,0072
6:  0,0016  7:  0,0765  8:  0,0001  9:  0,0086  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0014  3:  0,0003  4:  0,0005  5:  0,0101
6:  0,0032  7:  0,0737  8:  0,0003  9:  0,0071  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0014  3:  0,0019  4:  0,0003  5:  0,0059
6:  0,0015  7:  0,0692  8:  0,0001  9:  0,0152  0:  0,0005
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

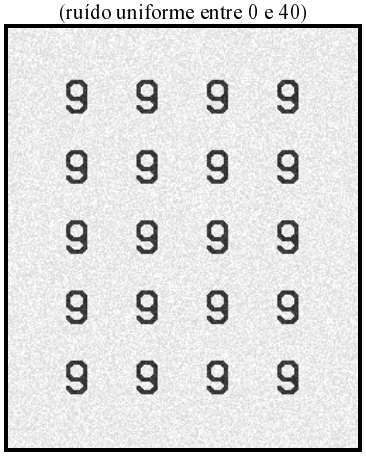
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0042  2:  0,0059  3:  0,0426  4:  0,0066  5:  0,0135
6:  0,0546  7:  0,0003  8:  0,1128  9:  0,0235  0:  0,0577

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0023  2:  0,0057  3:  0,0482  4:  0,0032  5:  0,0217
6:  0,0615  7:  0,0001  8:  0,1266  9:  0,0187  0:  0,0543

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0037  2:  0,0023  3:  0,0470  4:  0,0023  5:  0,0235
6:  0,0610  7:  0,0001  8:  0,0965  9:  0,0305  0:  0,0561

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0019  2:  0,0067  3:  0,0414  4:  0,0027  5:  0,0229
6:  0,0569  7:  0,0001  8:  0,1096  9:  0,0230  0:  0,0740

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0016  2:  0,0037  3:  0,0505  4:  0,0014  5:  0,0202
6:  0,0715  7:  0,0019  8:  0,1110  9:  0,0169  0:  0,0481

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0011  2:  0,0042  3:  0,0442  4:  0,0034  5:  0,0130
6:  0,0443  7:  0,0003  8:  0,1044  9:  0,0165  0:  0,0505

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0074  3:  0,0548  4:  0,0044  5:  0,0275
6:  0,0483  7:  0,0006  8:  0,0963  9:  0,0200  0:  0,0536

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0007  2:  0,0094  3:  0,0496  4:  0,0035  5:  0,0279
6:  0,0620  7:  0,0006  8:  0,1127  9:  0,0190  0:  0,0525

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0008  2:  0,0030  3:  0,0487  4:  0,0026  5:  0,0160
6:  0,0564  7:  0,0009  8:  0,1043  9:  0,0217  0:  0,0375

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0072  3:  0,0469  4:  0,0024  5:  0,0301
6:  0,0672  7:  0,0008  8:  0,1074  9:  0,0257  0:  0,0647

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0023  2:  0,0042  3:  0,0494  4:  0,0051  5:  0,0214
6:  0,0586  7:  0,0001  8:  0,1240  9:  0,0218  0:  0,0512

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0011  2:  0,0033  3:  0,0557  4:  0,0027  5:  0,0229
6:  0,0566  7:  0,0003  8:  0,1318  9:  0,0139  0:  0,0548

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0008  2:  0,0062  3:  0,0573  4:  0,0008  5:  0,0204
6:  0,0656  7:  0,0003  8:  0,1045  9:  0,0148  0:  0,0499

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0036  3:  0,0729  4:  0,0015  5:  0,0187
6:  0,0454  7:  0,0006  8:  0,1230  9:  0,0219  0:  0,0526

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0012  2:  0,0028  3:  0,0459  4:  0,0048  5:  0,0191
6:  0,0587  7:  0,0009  8:  0,0968  9:  0,0215  0:  0,0560

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0024  3:  0,0476  4:  0,0076  5:  0,0147
6:  0,0599  7:  0,0001  8:  0,1024  9:  0,0211  0:  0,0427

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0008  2:  0,0035  3:  0,0551  4:  0,0014  5:  0,0157
6:  0,0650  7:  0,0012  8:  0,1269  9:  0,0142  0:  0,0493

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0013  2:  0,0042  3:  0,0566  4:  0,0031  5:  0,0165
6:  0,0654  7:  0,0007  8:  0,0926  9:  0,0175  0:  0,0423

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0029  3:  0,0414  4:  0,0019  5:  0,0186
6:  0,0581  7:  0,0009  8:  0,1056  9:  0,0208  0:  0,0400

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0021  2:  0,0038  3:  0,0424  4:  0,0037  5:  0,0213
6:  0,0655  7:  0,0011  8:  0,0975  9:  0,0255  0:  0,0453
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0044  2:  0,0059  3:  0,0487  4:  0,0060  5:  0,0151
6:  0,0412  7:  0,0004  8:  0,0927  9:  0,0283  0:  0,0607

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0027  2:  0,0059  3:  0,0538  4:  0,0029  5:  0,0237
6:  0,0468  7:  0,0001  8:  0,1066  9:  0,0229  0:  0,0564

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0038  2:  0,0023  3:  0,0524  4:  0,0020  5:  0,0259
6:  0,0466  7:  0,0001  8:  0,0781  9:  0,0351  0:  0,0593

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0021  2:  0,0066  3:  0,0466  4:  0,0023  5:  0,0249
6:  0,0429  7:  0,0002  8:  0,0913  9:  0,0272  0:  0,0750

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0018  2:  0,0036  3:  0,0560  4:  0,0010  5:  0,0222
6:  0,0557  7:  0,0021  8:  0,0930  9:  0,0207  0:  0,0497

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0013  2:  0,0044  3:  0,0497  4:  0,0029  5:  0,0151
6:  0,0324  7:  0,0004  8:  0,0847  9:  0,0199  0:  0,0525

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0075  3:  0,0616  4:  0,0038  5:  0,0297
6:  0,0361  7:  0,0008  8:  0,0794  9:  0,0238  0:  0,0563

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0007  2:  0,0094  3:  0,0568  4:  0,0032  5:  0,0299
6:  0,0482  7:  0,0008  8:  0,0929  9:  0,0228  0:  0,0552

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0009  2:  0,0032  3:  0,0536  4:  0,0021  5:  0,0179
6:  0,0425  7:  0,0010  8:  0,0870  9:  0,0256  0:  0,0394

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0071  3:  0,0522  4:  0,0021  5:  0,0321
6:  0,0526  7:  0,0008  8:  0,0894  9:  0,0299  0:  0,0678

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0025  2:  0,0043  3:  0,0549  4:  0,0044  5:  0,0232
6:  0,0445  7:  0,0001  8:  0,1042  9:  0,0250  0:  0,0528

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0012  2:  0,0033  3:  0,0618  4:  0,0026  5:  0,0249
6:  0,0436  7:  0,0003  8:  0,1120  9:  0,0175  0:  0,0557

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0009  2:  0,0061  3:  0,0629  4:  0,0005  5:  0,0226
6:  0,0496  7:  0,0005  8:  0,0854  9:  0,0185  0:  0,0510

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0037  3:  0,0795  4:  0,0014  5:  0,0206
6:  0,0330  7:  0,0007  8:  0,1035  9:  0,0261  0:  0,0540

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0016  2:  0,0028  3:  0,0504  4:  0,0040  5:  0,0215
6:  0,0437  7:  0,0011  8:  0,0798  9:  0,0252  0:  0,0575

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0026  3:  0,0525  4:  0,0068  5:  0,0169
6:  0,0460  7:  0,0001  8:  0,0838  9:  0,0254  0:  0,0459

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0008  2:  0,0036  3:  0,0610  4:  0,0012  5:  0,0173
6:  0,0499  7:  0,0014  8:  0,1054  9:  0,0171  0:  0,0513

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0013  2:  0,0045  3:  0,0623  4:  0,0027  5:  0,0174
6:  0,0501  7:  0,0009  8:  0,0755  9:  0,0208  0:  0,0435

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0031  3:  0,0462  4:  0,0017  5:  0,0209
6:  0,0442  7:  0,0011  8:  0,0875  9:  0,0241  0:  0,0413

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0022  2:  0,0041  3:  0,0473  4:  0,0031  5:  0,0232
6:  0,0504  7:  0,0013  8:  0,0794  9:  0,0292  0:  0,0474
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

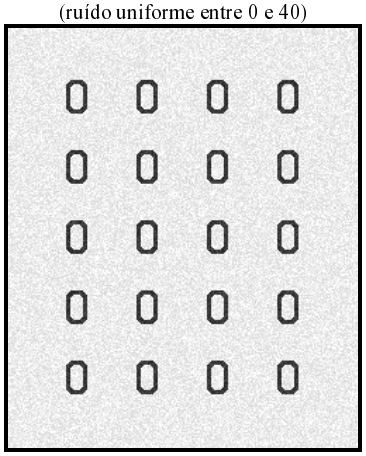
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0029  3:  0,0119  4:  0,0070  5:  0,0102
6:  0,0148  7:  0,0006  8:  0,0078  9:  0,0568  0:  0,0322

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0065  3:  0,0133  4:  0,0038  5:  0,0151
6:  0,0146  7:  0,0002  8:  0,0095  9:  0,0525  0:  0,0483

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0070  3:  0,0085  4:  0,0102  5:  0,0160
6:  0,0161  7:  0,0005  8:  0,0097  9:  0,0592  0:  0,0460

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0015  3:  0,0095  4:  0,0121  5:  0,0090
6:  0,0221  7:  0,0008  8:  0,0121  9:  0,0713  0:  0,0340

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0009  3:  0,0101  4:  0,0072  5:  0,0071
6:  0,0152  7:  0,0001  8:  0,0136  9:  0,0621  0:  0,0336

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0046  3:  0,0055  4:  0,0037  5:  0,0152
6:  0,0116  7:  0,0000  8:  0,0023  9:  0,0527  0:  0,0471

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0005  2:  0,0035  3:  0,0071  4:  0,0075  5:  0,0137
6:  0,0089  7:  0,0002  8:  0,0039  9:  0,0520  0:  0,0313

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0023  2:  0,0015  3:  0,0084  4:  0,0111  5:  0,0084
6:  0,0133  7:  0,0009  8:  0,0112  9:  0,0680  0:  0,0382

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0086  3:  0,0112  4:  0,0146  5:  0,0126
6:  0,0121  7:  0,0001  8:  0,0162  9:  0,0622  0:  0,0339

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0006  2:  0,0009  3:  0,0098  4:  0,0041  5:  0,0174
6:  0,0119  7:  0,0007  8:  0,0068  9:  0,0566  0:  0,0338

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0024  3:  0,0115  4:  0,0149  5:  0,0146
6:  0,0183  7:  0,0001  8:  0,0082  9:  0,0752  0:  0,0362

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0009  2:  0,0015  3:  0,0131  4:  0,0081  5:  0,0049
6:  0,0154  7:  0,0002  8:  0,0149  9:  0,0684  0:  0,0342

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0015  3:  0,0074  4:  0,0097  5:  0,0061
6:  0,0114  7:  0,0001  8:  0,0056  9:  0,0666  0:  0,0401

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0017  3:  0,0112  4:  0,0090  5:  0,0214
6:  0,0146  7:  0,0000  8:  0,0140  9:  0,0716  0:  0,0295

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0006  2:  0,0061  3:  0,0103  4:  0,0068  5:  0,0143
6:  0,0165  7:  0,0002  8:  0,0120  9:  0,0503  0:  0,0441

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0019  3:  0,0199  4:  0,0049  5:  0,0193
6:  0,0153  7:  0,0000  8:  0,0156  9:  0,0593  0:  0,0500

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0010  2:  0,0050  3:  0,0134  4:  0,0087  5:  0,0120
6:  0,0182  7:  0,0011  8:  0,0173  9:  0,0585  0:  0,0317

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0021  3:  0,0095  4:  0,0063  5:  0,0102
6:  0,0129  7:  0,0004  8:  0,0099  9:  0,0627  0:  0,0468

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0014  2:  0,0015  3:  0,0139  4:  0,0119  5:  0,0125
6:  0,0158  7:  0,0000  8:  0,0115  9:  0,0649  0:  0,0324

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0023  3:  0,0101  4:  0,0058  5:  0,0174
6:  0,0141  7:  0,0000  8:  0,0088  9:  0,0707  0:  0,0421
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0003  2:  0,0030  3:  0,0138  4:  0,0068  5:  0,0123
6:  0,0114  7:  0,0007  8:  0,0071  9:  0,0741  0:  0,0323

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0063  3:  0,0152  4:  0,0038  5:  0,0171
6:  0,0116  7:  0,0002  8:  0,0089  9:  0,0701  0:  0,0479

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0071  3:  0,0103  4:  0,0103  5:  0,0177
6:  0,0128  7:  0,0006  8:  0,0088  9:  0,0773  0:  0,0463

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0015  3:  0,0116  4:  0,0116  5:  0,0109
6:  0,0184  7:  0,0008  8:  0,0109  9:  0,0897  0:  0,0341

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0009  3:  0,0119  4:  0,0071  5:  0,0087
6:  0,0123  7:  0,0001  8:  0,0125  9:  0,0807  0:  0,0343

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0044  3:  0,0070  4:  0,0034  5:  0,0170
6:  0,0093  7:  0,0000  8:  0,0020  9:  0,0693  0:  0,0468

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0006  2:  0,0038  3:  0,0090  4:  0,0071  5:  0,0157
6:  0,0065  7:  0,0001  8:  0,0031  9:  0,0685  0:  0,0305

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0025  2:  0,0015  3:  0,0102  4:  0,0109  5:  0,0100
6:  0,0103  7:  0,0009  8:  0,0101  9:  0,0855  0:  0,0388

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0086  3:  0,0136  4:  0,0136  5:  0,0146
6:  0,0087  7:  0,0001  8:  0,0150  9:  0,0810  0:  0,0327

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0007  2:  0,0009  3:  0,0117  4:  0,0039  5:  0,0194
6:  0,0098  7:  0,0007  8:  0,0061  9:  0,0743  0:  0,0331

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0025  3:  0,0137  4:  0,0143  5:  0,0168
6:  0,0145  7:  0,0001  8:  0,0075  9:  0,0958  0:  0,0364

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0010  2:  0,0016  3:  0,0154  4:  0,0082  5:  0,0060
6:  0,0122  7:  0,0002  8:  0,0137  9:  0,0871  0:  0,0347

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0015  3:  0,0090  4:  0,0092  5:  0,0073
6:  0,0082  7:  0,0000  8:  0,0053  9:  0,0850  0:  0,0400

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0017  3:  0,0129  4:  0,0089  5:  0,0240
6:  0,0115  7:  0,0000  8:  0,0137  9:  0,0925  0:  0,0302

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0062  3:  0,0123  4:  0,0068  5:  0,0167
6:  0,0132  7:  0,0002  8:  0,0114  9:  0,0659  0:  0,0440

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0020  3:  0,0224  4:  0,0050  5:  0,0216
6:  0,0117  7:  0,0000  8:  0,0147  9:  0,0775  0:  0,0490

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0011  2:  0,0051  3:  0,0160  4:  0,0086  5:  0,0136
6:  0,0146  7:  0,0010  8:  0,0160  9:  0,0750  0:  0,0310

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0022  3:  0,0114  4:  0,0061  5:  0,0122
6:  0,0096  7:  0,0004  8:  0,0090  9:  0,0826  0:  0,0458

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0014  2:  0,0018  3:  0,0159  4:  0,0114  5:  0,0147
6:  0,0124  7:  0,0000  8:  0,0104  9:  0,0829  0:  0,0332

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0025  3:  0,0124  4:  0,0052  5:  0,0196
6:  0,0107  7:  0,0000  8:  0,0083  9:  0,0905  0:  0,0416
```

Imagem: 1º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 40)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,4

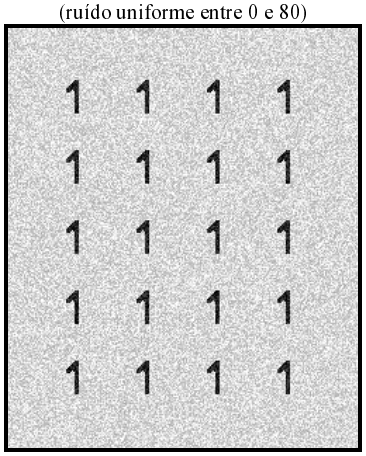
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0007  2:  0,0084  3:  0,0230  4:  0,0006  5:  0,0025
6:  0,0486  7:  0,0004  8:  0,0320  9:  0,0161  0:  0,0566

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0061  3:  0,0320  4:  0,0062  5:  0,0089
6:  0,0261  7:  0,0000  8:  0,0297  9:  0,0239  0:  0,0492

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0014  2:  0,0054  3:  0,0333  4:  0,0018  5:  0,0023
6:  0,0431  7:  0,0024  8:  0,0438  9:  0,0174  0:  0,0781

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0005  2:  0,0060  3:  0,0235  4:  0,0008  5:  0,0036
6:  0,0474  7:  0,0013  8:  0,0272  9:  0,0228  0:  0,0504

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0038  2:  0,0044  3:  0,0122  4:  0,0002  5:  0,0037
6:  0,0339  7:  0,0000  8:  0,0230  9:  0,0118  0:  0,0577

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0070  3:  0,0218  4:  0,0003  5:  0,0007
6:  0,0315  7:  0,0001  8:  0,0257  9:  0,0184  0:  0,0580

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0042  3:  0,0256  4:  0,0055  5:  0,0046
6:  0,0404  7:  0,0028  8:  0,0315  9:  0,0182  0:  0,0587

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0045  3:  0,0239  4:  0,0007  5:  0,0053
6:  0,0593  7:  0,0010  8:  0,0349  9:  0,0269  0:  0,0605

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0086  3:  0,0226  4:  0,0004  5:  0,0006
6:  0,0334  7:  0,0031  8:  0,0339  9:  0,0213  0:  0,0574

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0056  3:  0,0291  4:  0,0008  5:  0,0029
6:  0,0423  7:  0,0013  8:  0,0263  9:  0,0139  0:  0,0588

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0035  2:  0,0065  3:  0,0267  4:  0,0000  5:  0,0035
6:  0,0388  7:  0,0004  8:  0,0167  9:  0,0142  0:  0,0655

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0005  2:  0,0071  3:  0,0314  4:  0,0001  5:  0,0082
6:  0,0416  7:  0,0000  8:  0,0404  9:  0,0200  0:  0,0475

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0070  3:  0,0218  4:  0,0008  5:  0,0104
6:  0,0513  7:  0,0012  8:  0,0218  9:  0,0208  0:  0,0734

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0006  2:  0,0040  3:  0,0175  4:  0,0003  5:  0,0069
6:  0,0363  7:  0,0002  8:  0,0243  9:  0,0243  0:  0,0611

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0009  2:  0,0053  3:  0,0227  4:  0,0000  5:  0,0022
6:  0,0381  7:  0,0003  8:  0,0263  9:  0,0220  0:  0,0632

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0076  3:  0,0397  4:  0,0055  5:  0,0027
6:  0,0287  7:  0,0000  8:  0,0362  9:  0,0193  0:  0,0476

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0017  2:  0,0091  3:  0,0238  4:  0,0007  5:  0,0092
6:  0,0449  7:  0,0003  8:  0,0210  9:  0,0117  0:  0,0663

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0056  2:  0,0041  3:  0,0201  4:  0,0025  5:  0,0116
6:  0,0495  7:  0,0021  8:  0,0299  9:  0,0260  0:  0,0555

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0013  3:  0,0129  4:  0,0006  5:  0,0023
6:  0,0321  7:  0,0023  8:  0,0240  9:  0,0188  0:  0,0669

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0030  2:  0,0032  3:  0,0364  4:  0,0013  5:  0,0074
6:  0,0441  7:  0,0003  8:  0,0251  9:  0,0320  0:  0,0501
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0007  2:  0,0083  3:  0,0259  4:  0,0004  5:  0,0033
6:  0,0376  7:  0,0004  8:  0,0274  9:  0,0226  0:  0,0531

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0063  3:  0,0353  4:  0,0050  5:  0,0099
6:  0,0191  7:  0,0000  8:  0,0253  9:  0,0307  0:  0,0482

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0015  2:  0,0057  3:  0,0367  4:  0,0013  5:  0,0030
6:  0,0320  7:  0,0023  8:  0,0369  9:  0,0242  0:  0,0775

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0061  3:  0,0274  4:  0,0005  5:  0,0045
6:  0,0375  7:  0,0013  8:  0,0224  9:  0,0305  0:  0,0497

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0038  2:  0,0044  3:  0,0148  4:  0,0003  5:  0,0044
6:  0,0261  7:  0,0000  8:  0,0188  9:  0,0175  0:  0,0573

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0069  3:  0,0243  4:  0,0001  5:  0,0012
6:  0,0235  7:  0,0001  8:  0,0207  9:  0,0250  0:  0,0572

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0041  3:  0,0280  4:  0,0048  5:  0,0056
6:  0,0310  7:  0,0025  8:  0,0261  9:  0,0240  0:  0,0572

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0045  3:  0,0271  4:  0,0004  5:  0,0061
6:  0,0483  7:  0,0009  8:  0,0303  9:  0,0340  0:  0,0591

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0088  3:  0,0256  4:  0,0002  5:  0,0009
6:  0,0264  7:  0,0027  8:  0,0279  9:  0,0276  0:  0,0557

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0058  3:  0,0323  4:  0,0007  5:  0,0037
6:  0,0330  7:  0,0013  8:  0,0220  9:  0,0195  0:  0,0583

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0032  2:  0,0070  3:  0,0300  4:  0,0000  5:  0,0041
6:  0,0292  7:  0,0004  8:  0,0133  9:  0,0205  0:  0,0646

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0074  3:  0,0356  4:  0,0000  5:  0,0094
6:  0,0316  7:  0,0000  8:  0,0344  9:  0,0276  0:  0,0457

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0067  3:  0,0255  4:  0,0005  5:  0,0120
6:  0,0396  7:  0,0014  8:  0,0176  9:  0,0282  0:  0,0733

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0006  2:  0,0044  3:  0,0203  4:  0,0001  5:  0,0078
6:  0,0274  7:  0,0002  8:  0,0195  9:  0,0309  0:  0,0595

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0007  2:  0,0051  3:  0,0255  4:  0,0000  5:  0,0027
6:  0,0294  7:  0,0002  8:  0,0223  9:  0,0290  0:  0,0624

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0077  3:  0,0432  4:  0,0046  5:  0,0033
6:  0,0209  7:  0,0000  8:  0,0314  9:  0,0266  0:  0,0463

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0016  2:  0,0090  3:  0,0274  4:  0,0005  5:  0,0102
6:  0,0338  7:  0,0004  8:  0,0170  9:  0,0167  0:  0,0649

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0058  2:  0,0040  3:  0,0232  4:  0,0018  5:  0,0127
6:  0,0385  7:  0,0018  8:  0,0252  9:  0,0342  0:  0,0542

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0016  3:  0,0156  4:  0,0003  5:  0,0030
6:  0,0244  7:  0,0024  8:  0,0189  9:  0,0246  0:  0,0667

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0030  2:  0,0039  3:  0,0390  4:  0,0009  5:  0,0082
6:  0,0343  7:  0,0002  8:  0,0212  9:  0,0386  0:  0,0481
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	95
detecções trocadas	-
perdas de detecção	5

Método Proposto	%
detecções corretas	95
detecções trocadas	-
perdas de detecção	5

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

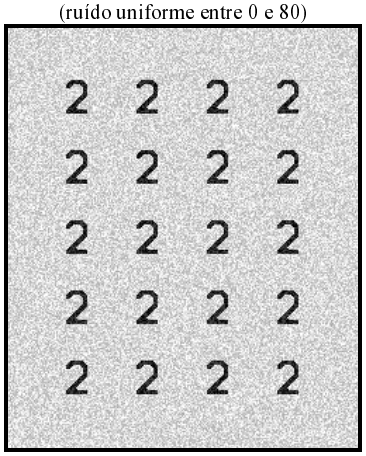
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0396  2:  0,0001  3:  0,0020  4:  0,0173  5:  0,0008
6:  0,0000  7:  0,0004  8:  0,0075  9:  0,0000  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0111  2:  0,0016  3:  0,0102  4:  0,0092  5:  0,0010
6:  0,0007  7:  0,0002  8:  0,0018  9:  0,0003  0:  0,0017

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0224  2:  0,0000  3:  0,0001  4:  0,0057  5:  0,0009
6:  0,0003  7:  0,0002  8:  0,0144  9:  0,0009  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0206  2:  0,0003  3:  0,0085  4:  0,0025  5:  0,0003
6:  0,0000  7:  0,0005  8:  0,0167  9:  0,0001  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0222  2:  0,0078  3:  0,0103  4:  0,0112  5:  0,0001
6:  0,0023  7:  0,0008  8:  0,0013  9:  0,0001  0:  0,0010

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0358  2:  0,0011  3:  0,0000  4:  0,0059  5:  0,0005
6:  0,0000  7:  0,0013  8:  0,0020  9:  0,0026  0:  0,0032

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0197  2:  0,0017  3:  0,0003  4:  0,0062  5:  0,0076
6:  0,0009  7:  0,0004  8:  0,0097  9:  0,0001  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0147  2:  0,0002  3:  0,0075  4:  0,0057  5:  0,0001
6:  0,0012  7:  0,0001  8:  0,0117  9:  0,0003  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0585  2:  0,0019  3:  0,0002  4:  0,0081  5:  0,0007
6:  0,0000  7:  0,0014  8:  0,0214  9:  0,0002  0:  0,0009

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0170  2:  0,0024  3:  0,0007  4:  0,0115  5:  0,0017
6:  0,0000  7:  0,0000  8:  0,0060  9:  0,0002  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0196  2:  0,0035  3:  0,0024  4:  0,0153  5:  0,0037
6:  0,0000  7:  0,0014  8:  0,0049  9:  0,0002  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0141  2:  0,0101  3:  0,0008  4:  0,0030  5:  0,0009
6:  0,0049  7:  0,0016  8:  0,0021  9:  0,0006  0:  0,0040

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0316  2:  0,0001  3:  0,0008  4:  0,0081  5:  0,0004
6:  0,0003  7:  0,0056  8:  0,0148  9:  0,0011  0:  0,0051

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0280  2:  0,0015  3:  0,0029  4:  0,0011  5:  0,0039
6:  0,0025  7:  0,0000  8:  0,0020  9:  0,0024  0:  0,0009

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0270  2:  0,0001  3:  0,0012  4:  0,0047  5:  0,0059
6:  0,0006  7:  0,0035  8:  0,0050  9:  0,0001  0:  0,0045

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0123  2:  0,0017  3:  0,0002  4:  0,0020  5:  0,0100
6:  0,0001  7:  0,0005  8:  0,0031  9:  0,0008  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0208  2:  0,0015  3:  0,0033  4:  0,0164  5:  0,0025
6:  0,0024  7:  0,0014  8:  0,0067  9:  0,0000  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0158  2:  0,0021  3:  0,0009  4:  0,0011  5:  0,0006
6:  0,0004  7:  0,0012  8:  0,0066  9:  0,0010  0:  0,0019

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0227  2:  0,0029  3:  0,0007  4:  0,0129  5:  0,0000
6:  0,0005  7:  0,0005  8:  0,0044  9:  0,0001  0:  0,0004
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0413  2:  0,0002  3:  0,0021  4:  0,0184  5:  0,0007
6:  0,0000  7:  0,0005  8:  0,0077  9:  0,0000  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0138  2:  0,0020  3:  0,0107  4:  0,0100  5:  0,0009
6:  0,0007  7:  0,0002  8:  0,0024  9:  0,0003  0:  0,0017

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0240  2:  0,0001  3:  0,0001  4:  0,0064  5:  0,0009
6:  0,0004  7:  0,0002  8:  0,0149  9:  0,0009  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0235  2:  0,0004  3:  0,0087  4:  0,0033  5:  0,0002
6:  0,0000  7:  0,0004  8:  0,0168  9:  0,0002  0:  0,0012

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0229  2:  0,0081  3:  0,0102  4:  0,0113  5:  0,0000
6:  0,0028  7:  0,0008  8:  0,0013  9:  0,0001  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0384  2:  0,0017  3:  0,0000  4:  0,0059  5:  0,0005
6:  0,0000  7:  0,0013  8:  0,0024  9:  0,0025  0:  0,0029

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0216  2:  0,0019  3:  0,0005  4:  0,0064  5:  0,0083
6:  0,0010  7:  0,0006  8:  0,0102  9:  0,0001  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0165  2:  0,0003  3:  0,0071  4:  0,0063  5:  0,0000
6:  0,0011  7:  0,0002  8:  0,0126  9:  0,0002  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0639  2:  0,0022  3:  0,0001  4:  0,0094  5:  0,0008
6:  0,0001  7:  0,0011  8:  0,0221  9:  0,0002  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0198  2:  0,0028  3:  0,0007  4:  0,0121  5:  0,0021
6:  0,0000  7:  0,0001  8:  0,0071  9:  0,0002  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0210  2:  0,0033  3:  0,0027  4:  0,0158  5:  0,0045
6:  0,0000  7:  0,0014  8:  0,0050  9:  0,0002  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0166  2:  0,0095  3:  0,0008  4:  0,0033  5:  0,0010
6:  0,0049  7:  0,0016  8:  0,0027  9:  0,0007  0:  0,0042

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0344  2:  0,0003  3:  0,0010  4:  0,0088  5:  0,0004
6:  0,0004  7:  0,0058  8:  0,0153  9:  0,0017  0:  0,0045

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0312  2:  0,0014  3:  0,0031  4:  0,0015  5:  0,0043
6:  0,0026  7:  0,0000  8:  0,0020  9:  0,0018  0:  0,0009

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0295  2:  0,0001  3:  0,0016  4:  0,0048  5:  0,0059
6:  0,0006  7:  0,0037  8:  0,0057  9:  0,0002  0:  0,0044

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0144  2:  0,0019  3:  0,0003  4:  0,0023  5:  0,0104
6:  0,0002  7:  0,0007  8:  0,0030  9:  0,0008  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0217  2:  0,0014  3:  0,0035  4:  0,0175  5:  0,0028
6:  0,0026  7:  0,0016  8:  0,0068  9:  0,0000  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0173  2:  0,0022  3:  0,0011  4:  0,0013  5:  0,0005
6:  0,0005  7:  0,0009  8:  0,0068  9:  0,0012  0:  0,0017

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0259  2:  0,0035  3:  0,0008  4:  0,0143  5:  0,0000
6:  0,0004  7:  0,0005  8:  0,0047  9:  0,0001  0:  0,0006
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

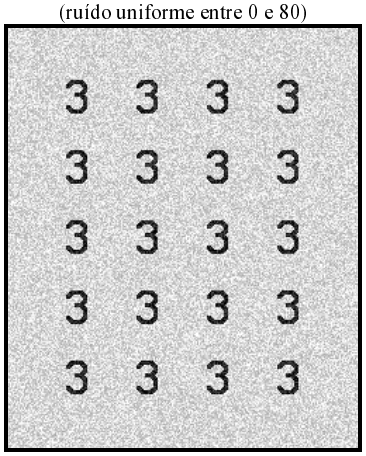
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0014  2:  0,0642  3:  0,0059  4:  0,0013  5:  0,0000
6:  0,0004  7:  0,0039  8:  0,0068  9:  0,0011  0:  0,0069

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0527  3:  0,0074  4:  0,0025  5:  0,0000
6:  0,0000  7:  0,0006  8:  0,0140  9:  0,0004  0:  0,0184

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0280  3:  0,0141  4:  0,0002  5:  0,0006
6:  0,0037  7:  0,0010  8:  0,0097  9:  0,0007  0:  0,0136

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0501  3:  0,0163  4:  0,0011  5:  0,0002
6:  0,0022  7:  0,0008  8:  0,0206  9:  0,0001  0:  0,0210

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0682  3:  0,0114  4:  0,0024  5:  0,0001
6:  0,0102  7:  0,0001  8:  0,0072  9:  0,0005  0:  0,0098

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0008  2:  0,0627  3:  0,0062  4:  0,0013  5:  0,0000
6:  0,0018  7:  0,0005  8:  0,0026  9:  0,0005  0:  0,0116

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0438  3:  0,0061  4:  0,0001  5:  0,0010
6:  0,0000  7:  0,0006  8:  0,0063  9:  0,0012  0:  0,0185

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0017  2:  0,0596  3:  0,0050  4:  0,0024  5:  0,0014
6:  0,0052  7:  0,0000  8:  0,0123  9:  0,0007  0:  0,0132

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0648  3:  0,0082  4:  0,0022  5:  0,0011
6:  0,0001  7:  0,0002  8:  0,0208  9:  0,0003  0:  0,0141

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0015  2:  0,0851  3:  0,0149  4:  0,0024  5:  0,0001
6:  0,0001  7:  0,0016  8:  0,0132  9:  0,0000  0:  0,0096

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0677  3:  0,0138  4:  0,0004  5:  0,0008
6:  0,0024  7:  0,0000  8:  0,0106  9:  0,0054  0:  0,0131

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0007  2:  0,0567  3:  0,0084  4:  0,0000  5:  0,0001
6:  0,0004  7:  0,0001  8:  0,0066  9:  0,0022  0:  0,0177

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0562  3:  0,0055  4:  0,0011  5:  0,0018
6:  0,0004  7:  0,0007  8:  0,0307  9:  0,0026  0:  0,0277

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0002  2:  0,0533  3:  0,0153  4:  0,0011  5:  0,0003
6:  0,0001  7:  0,0000  8:  0,0117  9:  0,0000  0:  0,0113

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0644  3:  0,0058  4:  0,0001  5:  0,0004
6:  0,0003  7:  0,0004  8:  0,0063  9:  0,0050  0:  0,0100

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0450  3:  0,0134  4:  0,0013  5:  0,0019
6:  0,0006  7:  0,0003  8:  0,0224  9:  0,0004  0:  0,0228

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0006  2:  0,0472  3:  0,0070  4:  0,0067  5:  0,0020
6:  0,0001  7:  0,0007  8:  0,0128  9:  0,0001  0:  0,0280

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0014  2:  0,0585  3:  0,0186  4:  0,0021  5:  0,0000
6:  0,0001  7:  0,0062  8:  0,0085  9:  0,0011  0:  0,0124

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0028  2:  0,0553  3:  0,0028  4:  0,0053  5:  0,0001
6:  0,0004  7:  0,0001  8:  0,0025  9:  0,0001  0:  0,0125

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0013  2:  0,0527  3:  0,0071  4:  0,0003  5:  0,0000
6:  0,0001  7:  0,0057  8:  0,0122  9:  0,0001  0:  0,0090
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0012  2:  0,0641  3:  0,0067  4:  0,0011  5:  0,0000
6:  0,0002  7:  0,0041  8:  0,0062  9:  0,0016  0:  0,0067

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0005  2:  0,0544  3:  0,0089  4:  0,0022  5:  0,0000
6:  0,0000  7:  0,0007  8:  0,0123  9:  0,0008  0:  0,0183

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0293  3:  0,0152  4:  0,0001  5:  0,0005
6:  0,0030  7:  0,0008  8:  0,0090  9:  0,0010  0:  0,0131

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0521  3:  0,0181  4:  0,0008  5:  0,0002
6:  0,0017  7:  0,0007  8:  0,0209  9:  0,0004  0:  0,0213

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0003  2:  0,0691  3:  0,0130  4:  0,0022  5:  0,0002
6:  0,0094  7:  0,0000  8:  0,0071  9:  0,0009  0:  0,0107

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0012  2:  0,0640  3:  0,0069  4:  0,0010  5:  0,0000
6:  0,0014  7:  0,0004  8:  0,0025  9:  0,0009  0:  0,0107

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0452  3:  0,0070  4:  0,0000  5:  0,0008
6:  0,0000  7:  0,0006  8:  0,0057  9:  0,0018  0:  0,0183

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0014  2:  0,0605  3:  0,0060  4:  0,0021  5:  0,0011
6:  0,0044  7:  0,0001  8:  0,0120  9:  0,0014  0:  0,0123

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0004  2:  0,0649  3:  0,0095  4:  0,0018  5:  0,0013
6:  0,0002  7:  0,0001  8:  0,0205  9:  0,0001  0:  0,0132

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0015  2:  0,0870  3:  0,0158  4:  0,0020  5:  0,0000
6:  0,0000  7:  0,0012  8:  0,0131  9:  0,0000  0:  0,0096

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0681  3:  0,0146  4:  0,0005  5:  0,0007
6:  0,0018  7:  0,0000  8:  0,0100  9:  0,0069  0:  0,0132

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0572  3:  0,0096  4:  0,0000  5:  0,0001
6:  0,0002  7:  0,0000  8:  0,0064  9:  0,0035  0:  0,0172

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0578  3:  0,0065  4:  0,0012  5:  0,0018
6:  0,0002  7:  0,0005  8:  0,0283  9:  0,0035  0:  0,0267

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0002  2:  0,0531  3:  0,0166  4:  0,0009  5:  0,0004
6:  0,0003  7:  0,0000  8:  0,0106  9:  0,0002  0:  0,0116

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0677  3:  0,0065  4:  0,0002  5:  0,0003
6:  0,0006  7:  0,0003  8:  0,0063  9:  0,0062  0:  0,0100

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0463  3:  0,0150  4:  0,0010  5:  0,0017
6:  0,0003  7:  0,0002  8:  0,0209  9:  0,0006  0:  0,0219

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0007  2:  0,0484  3:  0,0079  4:  0,0065  5:  0,0018
6:  0,0000  7:  0,0006  8:  0,0122  9:  0,0000  0:  0,0271

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0014  2:  0,0602  3:  0,0205  4:  0,0018  5:  0,0001
6:  0,0000  7:  0,0056  8:  0,0085  9:  0,0015  0:  0,0123

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0031  2:  0,0579  3:  0,0036  4:  0,0045  5:  0,0001
6:  0,0002  7:  0,0002  8:  0,0022  9:  0,0003  0:  0,0116

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0014  2:  0,0541  3:  0,0089  4:  0,0001  5:  0,0000
6:  0,0000  7:  0,0052  8:  0,0122  9:  0,0004  0:  0,0090
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	45
detecções trocadas	55
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	75
detecções trocadas	25
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

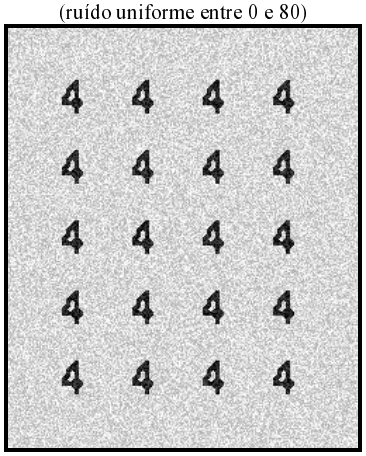
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0016  2:  0,0006  3:  0,0510  4:  0,0015  5:  0,0121
6:  0,0305  7:  0,0007  8:  0,0373  9:  0,0227  0:  0,0269

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0022  2:  0,0027  3:  0,0580  4:  0,0000  5:  0,0106
6:  0,0138  7:  0,0020  8:  0,0367  9:  0,0163  0:  0,0444

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0006  2:  0,0016  3:  0,0651  4:  0,0014  5:  0,0052
6:  0,0150  7:  0,0002  8:  0,0829  9:  0,0132  0:  0,0149

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0042  3:  0,0431  4:  0,0002  5:  0,0248
6:  0,0218  7:  0,0001  8:  0,0291  9:  0,0312  0:  0,0278

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0013  2:  0,0049  3:  0,0360  4:  0,0007  5:  0,0060
6:  0,0260  7:  0,0008  8:  0,0418  9:  0,0206  0:  0,0238

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0054  3:  0,0390  4:  0,0002  5:  0,0059
6:  0,0264  7:  0,0003  8:  0,0503  9:  0,0253  0:  0,0271

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0029  3:  0,0421  4:  0,0004  5:  0,0127
6:  0,0091  7:  0,0005  8:  0,0387  9:  0,0302  0:  0,0503

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0032  2:  0,0002  3:  0,0732  4:  0,0039  5:  0,0095
6:  0,0287  7:  0,0033  8:  0,0413  9:  0,0173  0:  0,0399

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0008  2:  0,0005  3:  0,0555  4:  0,0001  5:  0,0000
6:  0,0196  7:  0,0041  8:  0,0271  9:  0,0104  0:  0,0322

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0024  2:  0,0056  3:  0,0385  4:  0,0004  5:  0,0085
6:  0,0058  7:  0,0000  8:  0,0380  9:  0,0203  0:  0,0266

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0011  2:  0,0042  3:  0,0308  4:  0,0014  5:  0,0052
6:  0,0079  7:  0,0000  8:  0,0280  9:  0,0155  0:  0,0361

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0019  3:  0,0293  4:  0,0006  5:  0,0081
6:  0,0096  7:  0,0002  8:  0,0378  9:  0,0328  0:  0,0144

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0046  3:  0,0415  4:  0,0009  5:  0,0075
6:  0,0151  7:  0,0047  8:  0,0382  9:  0,0332  0:  0,0316

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0020  3:  0,0418  4:  0,0039  5:  0,0331
6:  0,0279  7:  0,0006  8:  0,0466  9:  0,0299  0:  0,0276

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0007  2:  0,0005  3:  0,0503  4:  0,0001  5:  0,0112
6:  0,0294  7:  0,0024  8:  0,0555  9:  0,0183  0:  0,0172

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0009  3:  0,0421  4:  0,0010  5:  0,0129
6:  0,0317  7:  0,0003  8:  0,0444  9:  0,0229  0:  0,0402

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0075  3:  0,0553  4:  0,0012  5:  0,0173
6:  0,0207  7:  0,0004  8:  0,0297  9:  0,0361  0:  0,0580

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0002  3:  0,0376  4:  0,0009  5:  0,0085
6:  0,0226  7:  0,0002  8:  0,0424  9:  0,0126  0:  0,0259

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0006  2:  0,0018  3:  0,0398  4:  0,0013  5:  0,0119
6:  0,0275  7:  0,0025  8:  0,0244  9:  0,0273  0:  0,0219

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0005  3:  0,0545  4:  0,0001  5:  0,0151
6:  0,0176  7:  0,0032  8:  0,0452  9:  0,0253  0:  0,0285
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0021  2:  0,0008  3:  0,0551  4:  0,0015  5:  0,0132
6:  0,0240  7:  0,0008  8:  0,0313  9:  0,0270  0:  0,0273

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0017  2:  0,0029  3:  0,0611  4:  0,0000  5:  0,0120
6:  0,0101  7:  0,0020  8:  0,0303  9:  0,0201  0:  0,0440

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0018  3:  0,0692  4:  0,0014  5:  0,0061
6:  0,0104  7:  0,0002  8:  0,0741  9:  0,0166  0:  0,0144

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0044  3:  0,0473  4:  0,0001  5:  0,0265
6:  0,0172  7:  0,0002  8:  0,0245  9:  0,0365  0:  0,0288

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0013  2:  0,0052  3:  0,0392  4:  0,0006  5:  0,0073
6:  0,0203  7:  0,0009  8:  0,0363  9:  0,0249  0:  0,0232

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0056  3:  0,0423  4:  0,0003  5:  0,0068
6:  0,0211  7:  0,0002  8:  0,0425  9:  0,0303  0:  0,0269

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0031  3:  0,0465  4:  0,0005  5:  0,0141
6:  0,0058  7:  0,0005  8:  0,0319  9:  0,0369  0:  0,0497

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0029  2:  0,0002  3:  0,0773  4:  0,0034  5:  0,0107
6:  0,0228  7:  0,0034  8:  0,0365  9:  0,0205  0:  0,0389

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0006  2:  0,0006  3:  0,0609  4:  0,0001  5:  0,0002
6:  0,0151  7:  0,0043  8:  0,0225  9:  0,0132  0:  0,0321

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0021  2:  0,0054  3:  0,0421  4:  0,0004  5:  0,0095
6:  0,0039  7:  0,0000  8:  0,0338  9:  0,0244  0:  0,0273

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0009  2:  0,0039  3:  0,0348  4:  0,0011  5:  0,0063
6:  0,0050  7:  0,0000  8:  0,0235  9:  0,0189  0:  0,0359

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0025  3:  0,0327  4:  0,0008  5:  0,0095
6:  0,0061  7:  0,0003  8:  0,0330  9:  0,0376  0:  0,0147

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0049  3:  0,0450  4:  0,0009  5:  0,0085
6:  0,0115  7:  0,0048  8:  0,0322  9:  0,0377  0:  0,0307

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0021  3:  0,0463  4:  0,0042  5:  0,0351
6:  0,0215  7:  0,0006  8:  0,0398  9:  0,0349  0:  0,0270

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0008  2:  0,0003  3:  0,0547  4:  0,0001  5:  0,0129
6:  0,0233  7:  0,0026  8:  0,0464  9:  0,0213  0:  0,0166

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0010  3:  0,0463  4:  0,0009  5:  0,0142
6:  0,0245  7:  0,0002  8:  0,0375  9:  0,0279  0:  0,0404

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0073  3:  0,0575  4:  0,0008  5:  0,0185
6:  0,0156  7:  0,0004  8:  0,0258  9:  0,0426  0:  0,0554

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0003  3:  0,0416  4:  0,0008  5:  0,0098
6:  0,0177  7:  0,0002  8:  0,0360  9:  0,0158  0:  0,0254

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0007  2:  0,0020  3:  0,0430  4:  0,0016  5:  0,0129
6:  0,0213  7:  0,0024  8:  0,0198  9:  0,0331  0:  0,0210

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0007  2:  0,0007  3:  0,0594  4:  0,0000  5:  0,0168
6:  0,0121  7:  0,0033  8:  0,0371  9:  0,0294  0:  0,0278
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

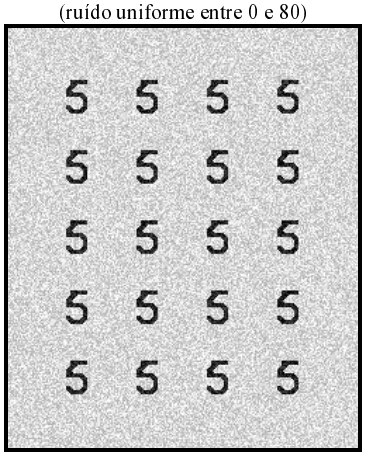
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0101  2:  0,0006  3:  0,0103  4:  0,0620  5:  0,0017
6:  0,0002  7:  0,0086  8:  0,0006  9:  0,0000  0:  0,0010

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0201  2:  0,0000  3:  0,0011  4:  0,0805  5:  0,0000
6:  0,0000  7:  0,0073  8:  0,0137  9:  0,0000  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0172  2:  0,0003  3:  0,0040  4:  0,1010  5:  0,0001
6:  0,0006  7:  0,0055  8:  0,0013  9:  0,0011  0:  0,0038

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0129  2:  0,0009  3:  0,0087  4:  0,0760  5:  0,0004
6:  0,0003  7:  0,0061  8:  0,0013  9:  0,0000  0:  0,0009

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0080  2:  0,0005  3:  0,0059  4:  0,0778  5:  0,0050
6:  0,0000  7:  0,0069  8:  0,0079  9:  0,0006  0:  0,0013

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0103  2:  0,0024  3:  0,0016  4:  0,0695  5:  0,0003
6:  0,0023  7:  0,0031  8:  0,0047  9:  0,0021  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0124  2:  0,0005  3:  0,0033  4:  0,0876  5:  0,0000
6:  0,0023  7:  0,0064  8:  0,0053  9:  0,0013  0:  0,0016

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0295  2:  0,0025  3:  0,0036  4:  0,0602  5:  0,0008
6:  0,0001  7:  0,0013  8:  0,0012  9:  0,0044  0:  0,0040

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0021  2:  0,0003  3:  0,0024  4:  0,0564  5:  0,0042
6:  0,0001  7:  0,0056  8:  0,0068  9:  0,0004  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0110  2:  0,0010  3:  0,0015  4:  0,0569  5:  0,0027
6:  0,0014  7:  0,0044  8:  0,0062  9:  0,0004  0:  0,0064

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0190  2:  0,0024  3:  0,0019  4:  0,0678  5:  0,0044
6:  0,0023  7:  0,0106  8:  0,0085  9:  0,0003  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0163  2:  0,0064  3:  0,0039  4:  0,0704  5:  0,0067
6:  0,0011  7:  0,0047  8:  0,0023  9:  0,0021  0:  0,0035

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0112  2:  0,0025  3:  0,0031  4:  0,0684  5:  0,0014
6:  0,0000  7:  0,0117  8:  0,0018  9:  0,0003  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0128  2:  0,0013  3:  0,0008  4:  0,0649  5:  0,0063
6:  0,0018  7:  0,0081  8:  0,0027  9:  0,0003  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0179  2:  0,0021  3:  0,0018  4:  0,0671  5:  0,0062
6:  0,0003  7:  0,0092  8:  0,0099  9:  0,0009  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0212  2:  0,0013  3:  0,0033  4:  0,0531  5:  0,0050
6:  0,0001  7:  0,0040  8:  0,0036  9:  0,0016  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0152  2:  0,0005  3:  0,0026  4:  0,0841  5:  0,0030
6:  0,0045  7:  0,0052  8:  0,0026  9:  0,0006  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0077  2:  0,0001  3:  0,0025  4:  0,0623  5:  0,0013
6:  0,0001  7:  0,0005  8:  0,0003  9:  0,0003  0:  0,0044

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0203  2:  0,0005  3:  0,0093  4:  0,0911  5:  0,0001
6:  0,0001  7:  0,0067  8:  0,0008  9:  0,0000  0:  0,0012

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0125  2:  0,0019  3:  0,0032  4:  0,0624  5:  0,0041
6:  0,0011  7:  0,0135  8:  0,0107  9:  0,0024  0:  0,0002
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0116  2:  0,0007  3:  0,0095  4:  0,0610  5:  0,0018
6:  0,0002  7:  0,0084  8:  0,0009  9:  0,0000  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0212  2:  0,0000  3:  0,0011  4:  0,0824  5:  0,0000
6:  0,0001  7:  0,0076  8:  0,0146  9:  0,0000  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0180  2:  0,0005  3:  0,0036  4:  0,1025  5:  0,0002
6:  0,0006  7:  0,0052  8:  0,0015  9:  0,0006  0:  0,0039

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0138  2:  0,0010  3:  0,0077  4:  0,0771  5:  0,0005
6:  0,0002  7:  0,0064  8:  0,0015  9:  0,0000  0:  0,0011

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0090  2:  0,0008  3:  0,0058  4:  0,0781  5:  0,0051
6:  0,0000  7:  0,0072  8:  0,0092  9:  0,0002  0:  0,0014

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0118  2:  0,0029  3:  0,0013  4:  0,0697  5:  0,0003
6:  0,0021  7:  0,0030  8:  0,0050  9:  0,0012  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0139  2:  0,0006  3:  0,0032  4:  0,0875  5:  0,0000
6:  0,0024  7:  0,0064  8:  0,0058  9:  0,0007  0:  0,0016

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0307  2:  0,0022  3:  0,0037  4:  0,0597  5:  0,0010
6:  0,0002  7:  0,0013  8:  0,0015  9:  0,0038  0:  0,0040

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0030  2:  0,0004  3:  0,0019  4:  0,0579  5:  0,0049
6:  0,0001  7:  0,0052  8:  0,0079  9:  0,0002  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0118  2:  0,0013  3:  0,0012  4:  0,0578  5:  0,0034
6:  0,0012  7:  0,0044  8:  0,0064  9:  0,0002  0:  0,0063

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0215  2:  0,0026  3:  0,0019  4:  0,0668  5:  0,0046
6:  0,0022  7:  0,0105  8:  0,0096  9:  0,0001  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0178  2:  0,0065  3:  0,0036  4:  0,0689  5:  0,0068
6:  0,0010  7:  0,0050  8:  0,0028  9:  0,0012  0:  0,0036

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0124  2:  0,0027  3:  0,0032  4:  0,0675  5:  0,0015
6:  0,0000  7:  0,0113  8:  0,0019  9:  0,0001  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0139  2:  0,0015  3:  0,0006  4:  0,0656  5:  0,0061
6:  0,0017  7:  0,0078  8:  0,0030  9:  0,0001  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0184  2:  0,0026  3:  0,0016  4:  0,0670  5:  0,0065
6:  0,0004  7:  0,0082  8:  0,0105  9:  0,0016  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0227  2:  0,0014  3:  0,0030  4:  0,0531  5:  0,0057
6:  0,0001  7:  0,0039  8:  0,0043  9:  0,0012  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0165  2:  0,0007  3:  0,0024  4:  0,0814  5:  0,0029
6:  0,0043  7:  0,0051  8:  0,0032  9:  0,0003  0:  0,0017

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0082  2:  0,0001  3:  0,0022  4:  0,0625  5:  0,0012
6:  0,0001  7:  0,0005  8:  0,0007  9:  0,0005  0:  0,0044

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0219  2:  0,0006  3:  0,0091  4:  0,0890  5:  0,0003
6:  0,0001  7:  0,0064  8:  0,0010  9:  0,0000  0:  0,0013

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0142  2:  0,0024  3:  0,0034  4:  0,0628  5:  0,0046
6:  0,0011  7:  0,0137  8:  0,0110  9:  0,0017  0:  0,0002
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

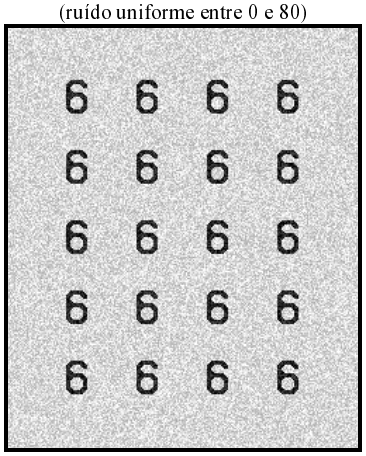
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0063  2:  0,0014  3:  0,0114  4:  0,0071  5:  0,0432
6:  0,0177  7:  0,0007  8:  0,0031  9:  0,0144  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0074  2:  0,0005  3:  0,0018  4:  0,0075  5:  0,0520
6:  0,0097  7:  0,0000  8:  0,0043  9:  0,0072  0:  0,0024

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0037  2:  0,0028  3:  0,0062  4:  0,0083  5:  0,0287
6:  0,0030  7:  0,0002  8:  0,0025  9:  0,0095  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0010  2:  0,0006  3:  0,0049  4:  0,0235  5:  0,0463
6:  0,0063  7:  0,0009  8:  0,0039  9:  0,0071  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0032  2:  0,0001  3:  0,0054  4:  0,0018  5:  0,0544
6:  0,0183  7:  0,0009  8:  0,0053  9:  0,0238  0:  0,0014

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0017  2:  0,0012  3:  0,0069  4:  0,0057  5:  0,0306
6:  0,0134  7:  0,0006  8:  0,0020  9:  0,0147  0:  0,0024

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0011  2:  0,0003  3:  0,0136  4:  0,0160  5:  0,0415
6:  0,0050  7:  0,0001  8:  0,0048  9:  0,0071  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0008  2:  0,0011  3:  0,0041  4:  0,0128  5:  0,0366
6:  0,0098  7:  0,0025  8:  0,0013  9:  0,0059  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0040  2:  0,0000  3:  0,0074  4:  0,0186  5:  0,0511
6:  0,0120  7:  0,0004  8:  0,0013  9:  0,0064  0:  0,0024

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0024  2:  0,0002  3:  0,0139  4:  0,0112  5:  0,0442
6:  0,0058  7:  0,0051  8:  0,0000  9:  0,0055  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0014  2:  0,0012  3:  0,0035  4:  0,0123  5:  0,0623
6:  0,0224  7:  0,0001  8:  0,0021  9:  0,0061  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0009  2:  0,0008  3:  0,0084  4:  0,0110  5:  0,0323
6:  0,0055  7:  0,0003  8:  0,0053  9:  0,0087  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0018  2:  0,0003  3:  0,0098  4:  0,0067  5:  0,0286
6:  0,0078  7:  0,0006  8:  0,0009  9:  0,0077  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0019  2:  0,0016  3:  0,0104  4:  0,0025  5:  0,0430
6:  0,0041  7:  0,0000  8:  0,0057  9:  0,0118  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0015  2:  0,0008  3:  0,0117  4:  0,0058  5:  0,0397
6:  0,0193  7:  0,0000  8:  0,0022  9:  0,0020  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0005  3:  0,0054  4:  0,0150  5:  0,0531
6:  0,0062  7:  0,0015  8:  0,0022  9:  0,0051  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0010  2:  0,0044  3:  0,0145  4:  0,0200  5:  0,0380
6:  0,0170  7:  0,0003  8:  0,0041  9:  0,0238  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0000  3:  0,0005  4:  0,0034  5:  0,0484
6:  0,0147  7:  0,0069  8:  0,0041  9:  0,0177  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0030  3:  0,0081  4:  0,0146  5:  0,0346
6:  0,0073  7:  0,0000  8:  0,0008  9:  0,0064  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0003  3:  0,0091  4:  0,0106  5:  0,0597
6:  0,0179  7:  0,0000  8:  0,0057  9:  0,0041  0:  0,0006
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0065  2:  0,0014  3:  0,0119  4:  0,0074  5:  0,0496
6:  0,0141  7:  0,0009  8:  0,0025  9:  0,0162  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0075  2:  0,0004  3:  0,0022  4:  0,0074  5:  0,0604
6:  0,0067  7:  0,0001  8:  0,0034  9:  0,0089  0:  0,0024

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0037  2:  0,0024  3:  0,0061  4:  0,0080  5:  0,0348
6:  0,0015  7:  0,0003  8:  0,0016  9:  0,0112  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0012  2:  0,0007  3:  0,0052  4:  0,0240  5:  0,0533
6:  0,0037  7:  0,0012  8:  0,0029  9:  0,0081  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0035  2:  0,0001  3:  0,0059  4:  0,0020  5:  0,0622
6:  0,0141  7:  0,0013  8:  0,0041  9:  0,0260  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0017  2:  0,0015  3:  0,0070  4:  0,0059  5:  0,0357
6:  0,0105  7:  0,0010  8:  0,0016  9:  0,0167  0:  0,0025

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0012  2:  0,0003  3:  0,0135  4:  0,0159  5:  0,0491
6:  0,0030  7:  0,0002  8:  0,0036  9:  0,0087  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0009  2:  0,0009  3:  0,0048  4:  0,0132  5:  0,0431
6:  0,0065  7:  0,0020  8:  0,0008  9:  0,0071  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0041  2:  0,0000  3:  0,0080  4:  0,0189  5:  0,0596
6:  0,0086  7:  0,0002  8:  0,0009  9:  0,0083  0:  0,0025

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0025  2:  0,0001  3:  0,0146  4:  0,0104  5:  0,0502
6:  0,0032  7:  0,0056  8:  0,0003  9:  0,0060  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0014  2:  0,0011  3:  0,0036  4:  0,0121  5:  0,0700
6:  0,0174  7:  0,0001  8:  0,0017  9:  0,0070  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0008  2:  0,0008  3:  0,0091  4:  0,0113  5:  0,0389
6:  0,0035  7:  0,0003  8:  0,0044  9:  0,0100  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0019  2:  0,0002  3:  0,0092  4:  0,0064  5:  0,0341
6:  0,0058  7:  0,0008  8:  0,0005  9:  0,0097  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0023  2:  0,0013  3:  0,0107  4:  0,0025  5:  0,0507
6:  0,0024  7:  0,0000  8:  0,0041  9:  0,0131  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0015  2:  0,0007  3:  0,0128  4:  0,0060  5:  0,0467
6:  0,0155  7:  0,0000  8:  0,0018  9:  0,0029  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0004  3:  0,0059  4:  0,0147  5:  0,0616
6:  0,0033  7:  0,0020  8:  0,0016  9:  0,0062  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0012  2:  0,0042  3:  0,0155  4:  0,0205  5:  0,0446
6:  0,0140  7:  0,0004  8:  0,0034  9:  0,0255  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0000  3:  0,0007  4:  0,0036  5:  0,0553
6:  0,0114  7:  0,0075  8:  0,0032  9:  0,0191  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0029  3:  0,0081  4:  0,0148  5:  0,0412
6:  0,0043  7:  0,0000  8:  0,0005  9:  0,0077  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0002  3:  0,0103  4:  0,0111  5:  0,0658
6:  0,0138  7:  0,0000  8:  0,0049  9:  0,0052  0:  0,0006
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	90
detecções trocadas	10
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	85
detecções trocadas	15
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

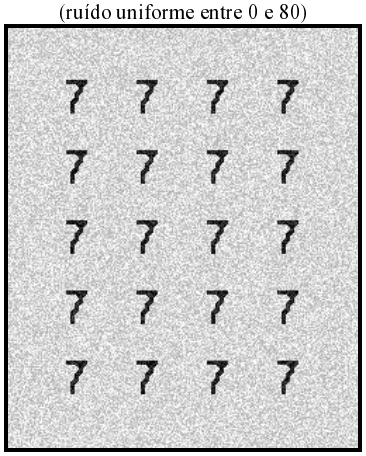
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0000  3:  0,0361  4:  0,0008  5:  0,0165
6:  0,0783  7:  0,0001  8:  0,0237  9:  0,0120  0:  0,0172

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0020  3:  0,0056  4:  0,0056  5:  0,0057
6:  0,0343  7:  0,0002  8:  0,0165  9:  0,0173  0:  0,0344

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0075  3:  0,0254  4:  0,0097  5:  0,0133
6:  0,0650  7:  0,0014  8:  0,0510  9:  0,0314  0:  0,0164

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0005  2:  0,0000  3:  0,0348  4:  0,0006  5:  0,0265
6:  0,0452  7:  0,0001  8:  0,0276  9:  0,0122  0:  0,0270

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0014  3:  0,0236  4:  0,0062  5:  0,0236
6:  0,0470  7:  0,0018  8:  0,0286  9:  0,0290  0:  0,0178

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0032  2:  0,0004  3:  0,0204  4:  0,0120  5:  0,0141
6:  0,0536  7:  0,0002  8:  0,0288  9:  0,0133  0:  0,0151

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0003  3:  0,0240  4:  0,0028  5:  0,0205
6:  0,0692  7:  0,0028  8:  0,0318  9:  0,0012  0:  0,0326

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0019  2:  0,0004  3:  0,0253  4:  0,0030  5:  0,0110
6:  0,0627  7:  0,0012  8:  0,0296  9:  0,0146  0:  0,0246

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0029  2:  0,0021  3:  0,0113  4:  0,0007  5:  0,0166
6:  0,0259  7:  0,0001  8:  0,0205  9:  0,0239  0:  0,0167

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0016  2:  0,0017  3:  0,0195  4:  0,0019  5:  0,0122
6:  0,0628  7:  0,0000  8:  0,0289  9:  0,0133  0:  0,0292

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0014  2:  0,0009  3:  0,0183  4:  0,0015  5:  0,0133
6:  0,0506  7:  0,0000  8:  0,0272  9:  0,0091  0:  0,0212

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0029  3:  0,0168  4:  0,0017  5:  0,0136
6:  0,0273  7:  0,0004  8:  0,0491  9:  0,0026  0:  0,0213

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0001  3:  0,0199  4:  0,0005  5:  0,0254
6:  0,0580  7:  0,0000  8:  0,0147  9:  0,0127  0:  0,0194

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0012  2:  0,0001  3:  0,0051  4:  0,0057  5:  0,0037
6:  0,0665  7:  0,0003  8:  0,0229  9:  0,0079  0:  0,0175

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0010  2:  0,0002  3:  0,0342  4:  0,0107  5:  0,0145
6:  0,0777  7:  0,0002  8:  0,0133  9:  0,0143  0:  0,0177

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0025  2:  0,0001  3:  0,0166  4:  0,0019  5:  0,0076
6:  0,0477  7:  0,0000  8:  0,0178  9:  0,0108  0:  0,0203

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0004  2:  0,0013  3:  0,0229  4:  0,0116  5:  0,0126
6:  0,0478  7:  0,0007  8:  0,0306  9:  0,0127  0:  0,0163

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0006  2:  0,0010  3:  0,0209  4:  0,0070  5:  0,0093
6:  0,0408  7:  0,0004  8:  0,0216  9:  0,0117  0:  0,0191

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0003  3:  0,0198  4:  0,0044  5:  0,0209
6:  0,0990  7:  0,0001  8:  0,0205  9:  0,0082  0:  0,0202

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0030  2:  0,0016  3:  0,0119  4:  0,0100  5:  0,0087
6:  0,0473  7:  0,0001  8:  0,0229  9:  0,0217  0:  0,0115
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0000  3:  0,0405  4:  0,0006  5:  0,0189
6:  0,0611  7:  0,0002  8:  0,0189  9:  0,0142  0:  0,0173

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0020  3:  0,0075  4:  0,0051  5:  0,0063
6:  0,0244  7:  0,0001  8:  0,0133  9:  0,0197  0:  0,0339

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0067  3:  0,0288  4:  0,0094  5:  0,0147
6:  0,0493  7:  0,0016  8:  0,0437  9:  0,0347  0:  0,0170

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0000  3:  0,0381  4:  0,0005  5:  0,0289
6:  0,0333  7:  0,0001  8:  0,0228  9:  0,0145  0:  0,0279

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0012  3:  0,0266  4:  0,0055  5:  0,0252
6:  0,0346  7:  0,0016  8:  0,0231  9:  0,0333  0:  0,0179

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0031  2:  0,0005  3:  0,0240  4:  0,0113  5:  0,0154
6:  0,0397  7:  0,0001  8:  0,0241  9:  0,0158  0:  0,0153

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0004  3:  0,0270  4:  0,0025  5:  0,0226
6:  0,0539  7:  0,0032  8:  0,0276  9:  0,0023  0:  0,0333

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0016  2:  0,0003  3:  0,0286  4:  0,0028  5:  0,0115
6:  0,0476  7:  0,0011  8:  0,0242  9:  0,0167  0:  0,0236

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0030  2:  0,0020  3:  0,0131  4:  0,0005  5:  0,0186
6:  0,0170  7:  0,0000  8:  0,0166  9:  0,0267  0:  0,0174

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0013  2:  0,0017  3:  0,0225  4:  0,0017  5:  0,0133
6:  0,0491  7:  0,0000  8:  0,0231  9:  0,0155  0:  0,0287

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0012  2:  0,0008  3:  0,0212  4:  0,0012  5:  0,0143
6:  0,0367  7:  0,0000  8:  0,0222  9:  0,0107  0:  0,0206

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0026  3:  0,0188  4:  0,0016  5:  0,0138
6:  0,0184  7:  0,0002  8:  0,0434  9:  0,0035  0:  0,0209

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0003  2:  0,0001  3:  0,0244  4:  0,0003  5:  0,0258
6:  0,0431  7:  0,0000  8:  0,0111  9:  0,0154  0:  0,0186

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0010  2:  0,0001  3:  0,0073  4:  0,0047  5:  0,0045
6:  0,0528  7:  0,0002  8:  0,0184  9:  0,0099  0:  0,0177

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0008  2:  0,0002  3:  0,0386  4:  0,0095  5:  0,0153
6:  0,0604  7:  0,0002  8:  0,0103  9:  0,0170  0:  0,0177

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0024  2:  0,0001  3:  0,0202  4:  0,0013  5:  0,0085
6:  0,0344  7:  0,0000  8:  0,0130  9:  0,0132  0:  0,0200

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0005  2:  0,0015  3:  0,0258  4:  0,0111  5:  0,0132
6:  0,0354  7:  0,0010  8:  0,0256  9:  0,0138  0:  0,0166

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0005  2:  0,0008  3:  0,0240  4:  0,0058  5:  0,0103
6:  0,0292  7:  0,0004  8:  0,0173  9:  0,0139  0:  0,0187

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0003  3:  0,0237  4:  0,0042  5:  0,0219
6:  0,0803  7:  0,0001  8:  0,0164  9:  0,0105  0:  0,0214

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0030  2:  0,0013  3:  0,0133  4:  0,0090  5:  0,0093
6:  0,0350  7:  0,0001  8:  0,0189  9:  0,0244  0:  0,0112
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

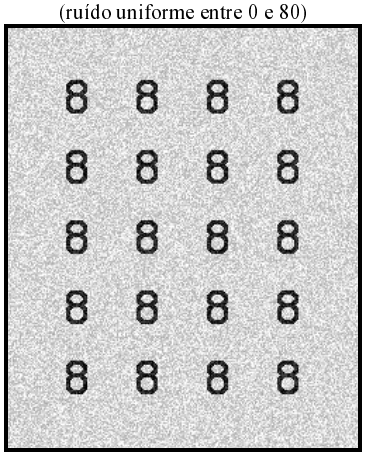
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0010  2:  0,0007  3:  0,0019  4:  0,0011  5:  0,0034
6:  0,0005  7:  0,0482  8:  0,0000  9:  0,0045  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0065  2:  0,0010  3:  0,0002  4:  0,0000  5:  0,0123
6:  0,0126  7:  0,0454  8:  0,0000  9:  0,0149  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0007  2:  0,0006  3:  0,0000  4:  0,0001  5:  0,0096
6:  0,0027  7:  0,0422  8:  0,0030  9:  0,0171  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0005  3:  0,0025  4:  0,0078  5:  0,0117
6:  0,0003  7:  0,0429  8:  0,0013  9:  0,0002  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0055  2:  0,0002  3:  0,0020  4:  0,0059  5:  0,0178
6:  0,0013  7:  0,0286  8:  0,0001  9:  0,0069  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0081  2:  0,0007  3:  0,0012  4:  0,0003  5:  0,0006
6:  0,0062  7:  0,0496  8:  0,0001  9:  0,0072  0:  0,0037

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0000  3:  0,0002  4:  0,0011  5:  0,0052
6:  0,0010  7:  0,0527  8:  0,0006  9:  0,0090  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0005  2:  0,0000  3:  0,0013  4:  0,0010  5:  0,0045
6:  0,0043  7:  0,0374  8:  0,0010  9:  0,0080  0:  0,0018

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0041  3:  0,0072  4:  0,0002  5:  0,0025
6:  0,0002  7:  0,0381  8:  0,0000  9:  0,0038  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0029  3:  0,0013  4:  0,0010  5:  0,0105
6:  0,0029  7:  0,0355  8:  0,0000  9:  0,0048  0:  0,0016

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0011  3:  0,0007  4:  0,0001  5:  0,0025
6:  0,0007  7:  0,0333  8:  0,0004  9:  0,0041  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0003  3:  0,0010  4:  0,0007  5:  0,0082
6:  0,0013  7:  0,0412  8:  0,0008  9:  0,0068  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0008  3:  0,0003  4:  0,0017  5:  0,0035
6:  0,0001  7:  0,0562  8:  0,0096  9:  0,0026  0:  0,0017

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0033  2:  0,0000  3:  0,0028  4:  0,0000  5:  0,0151
6:  0,0024  7:  0,0366  8:  0,0000  9:  0,0091  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0037  3:  0,0003  4:  0,0028  5:  0,0061
6:  0,0000  7:  0,0487  8:  0,0001  9:  0,0000  0:  0,0010

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0019  2:  0,0002  3:  0,0015  4:  0,0001  5:  0,0012
6:  0,0086  7:  0,0574  8:  0,0021  9:  0,0008  0:  0,0017

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0000  3:  0,0004  4:  0,0008  5:  0,0149
6:  0,0007  7:  0,0348  8:  0,0012  9:  0,0052  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0001  3:  0,0009  4:  0,0019  5:  0,0147
6:  0,0014  7:  0,0245  8:  0,0001  9:  0,0074  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0005  2:  0,0013  3:  0,0003  4:  0,0011  5:  0,0045
6:  0,0013  7:  0,0502  8:  0,0000  9:  0,0067  0:  0,0010

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0005  2:  0,0000  3:  0,0010  4:  0,0026  5:  0,0048
6:  0,0012  7:  0,0354  8:  0,0000  9:  0,0018  0:  0,0001
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0008  2:  0,0007  3:  0,0019  4:  0,0008  5:  0,0036
6:  0,0008  7:  0,0498  8:  0,0000  9:  0,0037  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0061  2:  0,0010  3:  0,0002  4:  0,0000  5:  0,0125
6:  0,0135  7:  0,0460  8:  0,0000  9:  0,0143  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0008  2:  0,0006  3:  0,0000  4:  0,0001  5:  0,0102
6:  0,0029  7:  0,0438  8:  0,0031  9:  0,0180  0:  0,0004

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0005  3:  0,0029  4:  0,0077  5:  0,0123
6:  0,0005  7:  0,0444  8:  0,0011  9:  0,0002  0:  0,0007

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0053  2:  0,0003  3:  0,0024  4:  0,0053  5:  0,0190
6:  0,0014  7:  0,0302  8:  0,0000  9:  0,0070  0:  0,0002

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0079  2:  0,0007  3:  0,0012  4:  0,0004  5:  0,0009
6:  0,0066  7:  0,0514  8:  0,0003  9:  0,0070  0:  0,0036

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0000  3:  0,0001  4:  0,0010  5:  0,0060
6:  0,0008  7:  0,0550  8:  0,0005  9:  0,0089  0:  0,0000

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0000  3:  0,0015  4:  0,0010  5:  0,0046
6:  0,0042  7:  0,0388  8:  0,0011  9:  0,0079  0:  0,0021

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0042  3:  0,0075  4:  0,0002  5:  0,0031
6:  0,0003  7:  0,0394  8:  0,0001  9:  0,0038  0:  0,0001

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0002  2:  0,0029  3:  0,0011  4:  0,0010  5:  0,0110
6:  0,0029  7:  0,0363  8:  0,0000  9:  0,0053  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0012  3:  0,0006  4:  0,0000  5:  0,0029
6:  0,0009  7:  0,0344  8:  0,0003  9:  0,0040  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0004  3:  0,0008  4:  0,0007  5:  0,0090
6:  0,0013  7:  0,0414  8:  0,0010  9:  0,0067  0:  0,0006

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0007  3:  0,0003  4:  0,0016  5:  0,0042
6:  0,0000  7:  0,0558  8:  0,0099  9:  0,0025  0:  0,0016

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0031  2:  0,0000  3:  0,0033  4:  0,0000  5:  0,0153
6:  0,0023  7:  0,0380  8:  0,0000  9:  0,0091  0:  0,0015

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0034  3:  0,0003  4:  0,0027  5:  0,0068
6:  0,0001  7:  0,0514  8:  0,0001  9:  0,0000  0:  0,0013

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0013  2:  0,0002  3:  0,0015  4:  0,0001  5:  0,0015
6:  0,0089  7:  0,0589  8:  0,0023  9:  0,0007  0:  0,0021

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0000  3:  0,0004  4:  0,0006  5:  0,0165
6:  0,0009  7:  0,0359  8:  0,0014  9:  0,0053  0:  0,0005

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0001  3:  0,0008  4:  0,0020  5:  0,0151
6:  0,0014  7:  0,0262  8:  0,0001  9:  0,0071  0:  0,0003

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0013  3:  0,0002  4:  0,0010  5:  0,0050
6:  0,0013  7:  0,0494  8:  0,0000  9:  0,0070  0:  0,0008

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0001  3:  0,0010  4:  0,0023  5:  0,0055
6:  0,0015  7:  0,0362  8:  0,0000  9:  0,0016  0:  0,0001
```

Imagem: 2^{0} Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	100
detecções trocadas	-
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

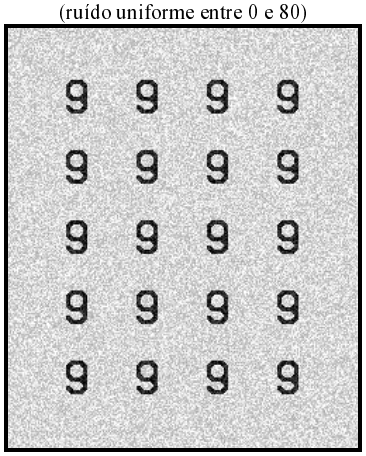
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0031  3:  0,0338  4:  0,0039  5:  0,0174
6:  0,0423  7:  0,0043  8:  0,0650  9:  0,0037  0:  0,0368

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0017  2:  0,0097  3:  0,0342  4:  0,0007  5:  0,0236
6:  0,0375  7:  0,0005  8:  0,0716  9:  0,0244  0:  0,0316

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0013  2:  0,0026  3:  0,0415  4:  0,0043  5:  0,0093
6:  0,0322  7:  0,0039  8:  0,0634  9:  0,0233  0:  0,0485

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0075  3:  0,0410  4:  0,0029  5:  0,0120
6:  0,0202  7:  0,0017  8:  0,0719  9:  0,0089  0:  0,0283

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0030  2:  0,0105  3:  0,0298  4:  0,0049  5:  0,0119
6:  0,0271  7:  0,0000  8:  0,0695  9:  0,0158  0:  0,0402

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0004  3:  0,0207  4:  0,0014  5:  0,0215
6:  0,0515  7:  0,0030  8:  0,0589  9:  0,0240  0:  0,0332

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0046  3:  0,0317  4:  0,0025  5:  0,0077
6:  0,0238  7:  0,0000  8:  0,0631  9:  0,0244  0:  0,0437

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0042  3:  0,0274  4:  0,0002  5:  0,0154
6:  0,0308  7:  0,0020  8:  0,0835  9:  0,0129  0:  0,0297

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0036  2:  0,0043  3:  0,0301  4:  0,0033  5:  0,0073
6:  0,0369  7:  0,0018  8:  0,0616  9:  0,0129  0:  0,0202

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0002  3:  0,0297  4:  0,0024  5:  0,0188
6:  0,0342  7:  0,0029  8:  0,0776  9:  0,0044  0:  0,0349

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0020  3:  0,0380  4:  0,0000  5:  0,0139
6:  0,0335  7:  0,0001  8:  0,0555  9:  0,0096  0:  0,0276

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0020  3:  0,0420  4:  0,0010  5:  0,0124
6:  0,0268  7:  0,0055  8:  0,0733  9:  0,0127  0:  0,0198

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0123  3:  0,0470  4:  0,0018  5:  0,0111
6:  0,0191  7:  0,0001  8:  0,0910  9:  0,0104  0:  0,0234

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0002  3:  0,0290  4:  0,0002  5:  0,0190
6:  0,0335  7:  0,0048  8:  0,0488  9:  0,0107  0:  0,0375

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0007  3:  0,0249  4:  0,0001  5:  0,0060
6:  0,0204  7:  0,0002  8:  0,0669  9:  0,0037  0:  0,0317

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0033  2:  0,0012  3:  0,0301  4:  0,0047  5:  0,0116
6:  0,0301  7:  0,0012  8:  0,0816  9:  0,0122  0:  0,0209

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0006  2:  0,0072  3:  0,0165  4:  0,0047  5:  0,0128
6:  0,0332  7:  0,0002  8:  0,0588  9:  0,0211  0:  0,0303

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0015  3:  0,0331  4:  0,0014  5:  0,0113
6:  0,0572  7:  0,0004  8:  0,0620  9:  0,0046  0:  0,0208

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0008  2:  0,0042  3:  0,0260  4:  0,0085  5:  0,0121
6:  0,0341  7:  0,0033  8:  0,0581  9:  0,0121  0:  0,0366

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0054  3:  0,0395  4:  0,0029  5:  0,0103
6:  0,0259  7:  0,0055  8:  0,0915  9:  0,0070  0:  0,0380
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0031  3:  0,0382  4:  0,0033  5:  0,0196
6:  0,0335  7:  0,0050  8:  0,0547  9:  0,0056  0:  0,0378

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0017  2:  0,0099  3:  0,0384  4:  0,0005  5:  0,0248
6:  0,0296  7:  0,0004  8:  0,0585  9:  0,0270  0:  0,0339

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0014  2:  0,0026  3:  0,0450  4:  0,0039  5:  0,0107
6:  0,0255  7:  0,0039  8:  0,0539  9:  0,0264  0:  0,0519

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0000  2:  0,0080  3:  0,0451  4:  0,0028  5:  0,0129
6:  0,0144  7:  0,0015  8:  0,0597  9:  0,0111  0:  0,0301

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0035  2:  0,0102  3:  0,0338  4:  0,0044  5:  0,0129
6:  0,0195  7:  0,0001  8:  0,0600  9:  0,0179  0:  0,0417

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0004  3:  0,0243  4:  0,0012  5:  0,0232
6:  0,0416  7:  0,0032  8:  0,0498  9:  0,0273  0:  0,0350

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0005  2:  0,0049  3:  0,0355  4:  0,0022  5:  0,0088
6:  0,0173  7:  0,0000  8:  0,0540  9:  0,0274  0:  0,0440

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0007  2:  0,0044  3:  0,0314  4:  0,0001  5:  0,0168
6:  0,0238  7:  0,0023  8:  0,0738  9:  0,0158  0:  0,0314

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0033  2:  0,0041  3:  0,0349  4:  0,0029  5:  0,0085
6:  0,0288  7:  0,0022  8:  0,0520  9:  0,0146  0:  0,0221

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0001  2:  0,0003  3:  0,0335  4:  0,0023  5:  0,0200
6:  0,0259  7:  0,0033  8:  0,0662  9:  0,0057  0:  0,0368

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0023  3:  0,0420  4:  0,0001  5:  0,0154
6:  0,0257  7:  0,0002  8:  0,0461  9:  0,0111  0:  0,0293

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0021  3:  0,0467  4:  0,0010  5:  0,0134
6:  0,0196  7:  0,0061  8:  0,0631  9:  0,0150  0:  0,0208

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0127  3:  0,0503  4:  0,0017  5:  0,0126
6:  0,0134  7:  0,0001  8:  0,0793  9:  0,0126  0:  0,0248

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0003  3:  0,0326  4:  0,0001  5:  0,0212
6:  0,0265  7:  0,0051  8:  0,0405  9:  0,0133  0:  0,0387

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0006  3:  0,0280  4:  0,0001  5:  0,0066
6:  0,0139  7:  0,0004  8:  0,0560  9:  0,0048  0:  0,0332

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0036  2:  0,0016  3:  0,0329  4:  0,0046  5:  0,0135
6:  0,0223  7:  0,0016  8:  0,0685  9:  0,0143  0:  0,0225

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0006  2:  0,0067  3:  0,0193  4:  0,0040  5:  0,0145
6:  0,0261  7:  0,0003  8:  0,0502  9:  0,0238  0:  0,0318

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0016  3:  0,0370  4:  0,0014  5:  0,0135
6:  0,0463  7:  0,0006  8:  0,0527  9:  0,0059  0:  0,0218

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0009  2:  0,0038  3:  0,0292  4:  0,0082  5:  0,0137
6:  0,0250  7:  0,0033  8:  0,0473  9:  0,0142  0:  0,0388

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0006  2:  0,0049  3:  0,0446  4:  0,0026  5:  0,0116
6:  0,0190  7:  0,0054  8:  0,0763  9:  0,0088  0:  0,0394
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	75
detecções trocadas	25
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	90
detecções trocadas	10
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

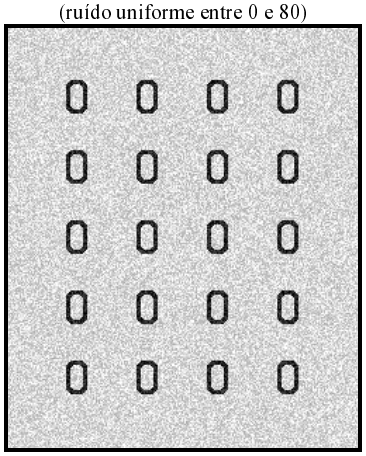
Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0012  2:  0,0002  3:  0,0034  4:  0,0046  5:  0,0036
6:  0,0125  7:  0,0009  8:  0,0040  9:  0,0439  0:  0,0202

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0001  3:  0,0063  4:  0,0012  5:  0,0066
6:  0,0022  7:  0,0018  8:  0,0022  9:  0,0340  0:  0,0227

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0008  2:  0,0028  3:  0,0001  4:  0,0006  5:  0,0086
6:  0,0154  7:  0,0054  8:  0,0046  9:  0,0341  0:  0,0262

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0007  2:  0,0004  3:  0,0020  4:  0,0096  5:  0,0039
6:  0,0113  7:  0,0006  8:  0,0022  9:  0,0258  0:  0,0381

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0022  3:  0,0097  4:  0,0126  5:  0,0065
6:  0,0207  7:  0,0000  8:  0,0033  9:  0,0271  0:  0,0191

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0003  3:  0,0071  4:  0,0107  5:  0,0099
6:  0,0042  7:  0,0016  8:  0,0062  9:  0,0250  0:  0,0201

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0016  3:  0,0023  4:  0,0069  5:  0,0093
6:  0,0043  7:  0,0014  8:  0,0091  9:  0,0199  0:  0,0207

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0005  2:  0,0014  3:  0,0159  4:  0,0059  5:  0,0076
6:  0,0088  7:  0,0002  8:  0,0144  9:  0,0480  0:  0,0357

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0027  3:  0,0115  4:  0,0035  5:  0,0081
6:  0,0134  7:  0,0002  8:  0,0077  9:  0,0354  0:  0,0220

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0108  3:  0,0048  4:  0,0003  5:  0,0034
6:  0,0031  7:  0,0023  8:  0,0151  9:  0,0404  0:  0,0274

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0040  3:  0,0097  4:  0,0000  5:  0,0111
6:  0,0144  7:  0,0000  8:  0,0040  9:  0,0301  0:  0,0254

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0010  3:  0,0023  4:  0,0012  5:  0,0149
6:  0,0071  7:  0,0011  8:  0,0030  9:  0,0264  0:  0,0299

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0008  3:  0,0051  4:  0,0071  5:  0,0085
6:  0,0034  7:  0,0004  8:  0,0091  9:  0,0552  0:  0,0223

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0005  2:  0,0001  3:  0,0069  4:  0,0036  5:  0,0214
6:  0,0137  7:  0,0005  8:  0,0034  9:  0,0204  0:  0,0194

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0012  3:  0,0067  4:  0,0026  5:  0,0068
6:  0,0073  7:  0,0002  8:  0,0083  9:  0,0357  0:  0,0231

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0005  2:  0,0040  3:  0,0009  4:  0,0000  5:  0,0117
6:  0,0017  7:  0,0004  8:  0,0052  9:  0,0271  0:  0,0480

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0042  3:  0,0201  4:  0,0012  5:  0,0031
6:  0,0074  7:  0,0027  8:  0,0091  9:  0,0398  0:  0,0348

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0002  2:  0,0026  3:  0,0021  4:  0,0068  5:  0,0138
6:  0,0116  7:  0,0009  8:  0,0184  9:  0,0221  0:  0,0193

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0044  3:  0,0057  4:  0,0018  5:  0,0038
6:  0,0018  7:  0,0001  8:  0,0038  9:  0,0456  0:  0,0238

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0031  2:  0,0019  3:  0,0150  4:  0,0056  5:  0,0150
6:  0,0231  7:  0,0005  8:  0,0050  9:  0,0261  0:  0,0259
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0013  2:  0,0002  3:  0,0042  4:  0,0044  5:  0,0044
6:  0,0106  7:  0,0009  8:  0,0033  9:  0,0551  0:  0,0201

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0002  3:  0,0070  4:  0,0010  5:  0,0078
6:  0,0009  7:  0,0016  8:  0,0018  9:  0,0464  0:  0,0226

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0010  2:  0,0028  3:  0,0004  4:  0,0007  5:  0,0102
6:  0,0123  7:  0,0051  8:  0,0041  9:  0,0451  0:  0,0260

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0007  2:  0,0003  3:  0,0033  4:  0,0099  5:  0,0054
6:  0,0095  7:  0,0005  8:  0,0018  9:  0,0351  0:  0,0371

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0021  3:  0,0114  4:  0,0130  5:  0,0080
6:  0,0171  7:  0,0000  8:  0,0032  9:  0,0363  0:  0,0187

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0003  3:  0,0082  4:  0,0107  5:  0,0113
6:  0,0030  7:  0,0016  8:  0,0058  9:  0,0345  0:  0,0199

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0002  2:  0,0016  3:  0,0027  4:  0,0072  5:  0,0106
6:  0,0033  7:  0,0015  8:  0,0082  9:  0,0278  0:  0,0215

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0013  3:  0,0174  4:  0,0062  5:  0,0089
6:  0,0071  7:  0,0002  8:  0,0142  9:  0,0613  0:  0,0361

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0002  2:  0,0029  3:  0,0125  4:  0,0033  5:  0,0092
6:  0,0104  7:  0,0002  8:  0,0071  9:  0,0456  0:  0,0230

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0113  3:  0,0055  4:  0,0003  5:  0,0046
6:  0,0018  7:  0,0021  8:  0,0139  9:  0,0514  0:  0,0260

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0042  3:  0,0119  4:  0,0000  5:  0,0124
6:  0,0116  7:  0,0000  8:  0,0037  9:  0,0404  0:  0,0253

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0003  2:  0,0010  3:  0,0031  4:  0,0010  5:  0,0157
6:  0,0048  7:  0,0012  8:  0,0026  9:  0,0341  0:  0,0296

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0007  3:  0,0065  4:  0,0074  5:  0,0091
6:  0,0023  7:  0,0003  8:  0,0085  9:  0,0683  0:  0,0212

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0004  2:  0,0001  3:  0,0078  4:  0,0039  5:  0,0233
6:  0,0113  7:  0,0004  8:  0,0032  9:  0,0280  0:  0,0197

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0012  3:  0,0082  4:  0,0025  5:  0,0076
6:  0,0063  7:  0,0003  8:  0,0081  9:  0,0463  0:  0,0219

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0004  2:  0,0044  3:  0,0014  4:  0,0000  5:  0,0138
6:  0,0011  7:  0,0003  8:  0,0048  9:  0,0369  0:  0,0490

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0042  3:  0,0217  4:  0,0011  5:  0,0040
6:  0,0052  7:  0,0027  8:  0,0083  9:  0,0507  0:  0,0344

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0023  3:  0,0030  4:  0,0070  5:  0,0152
6:  0,0089  7:  0,0009  8:  0,0172  9:  0,0306  0:  0,0184

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0042  3:  0,0065  4:  0,0018  5:  0,0042
6:  0,0012  7:  0,0001  8:  0,0034  9:  0,0559  0:  0,0233

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0029  2:  0,0019  3:  0,0173  4:  0,0054  5:  0,0170
6:  0,0192  7:  0,0004  8:  0,0047  9:  0,0352  0:  0,0257
```

Imagem: 2º Conjunto
(ruído uniforme entre 0 e 80)



Resumo

Método Original	%
detecções corretas	55
detecções trocadas	45
perdas de detecção	-

Método Proposto	%
detecções corretas	65
detecções trocadas	35
perdas de detecção	-

Q/T = 0,2 (ou 0,1, se vencer o padrão "1")

Detecções com o filtro QUAL original:

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0008  3:  0,0223  4:  0,0009  5:  0,0057
6:  0,0132  7:  0,0000  8:  0,0406  9:  0,0138  0:  0,0305

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0027  3:  0,0198  4:  0,0001  5:  0,0002
6:  0,0145  7:  0,0002  8:  0,0262  9:  0,0031  0:  0,0296

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0021  2:  0,0000  3:  0,0171  4:  0,0003  5:  0,0019
6:  0,0317  7:  0,0009  8:  0,0261  9:  0,0050  0:  0,0337

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0002  3:  0,0057  4:  0,0006  5:  0,0008
6:  0,0244  7:  0,0009  8:  0,0060  9:  0,0192  0:  0,0121

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0038  3:  0,0066  4:  0,0003  5:  0,0015
6:  0,0138  7:  0,0007  8:  0,0241  9:  0,0135  0:  0,0350

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0005  2:  0,0027  3:  0,0171  4:  0,0005  5:  0,0127
6:  0,0286  7:  0,0007  8:  0,0176  9:  0,0166  0:  0,0367

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0003  2:  0,0010  3:  0,0261  4:  0,0001  5:  0,0034
6:  0,0165  7:  0,0006  8:  0,0053  9:  0,0095  0:  0,0398

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0024  2:  0,0000  3:  0,0034  4:  0,0017  5:  0,0078
6:  0,0279  7:  0,0004  8:  0,0106  9:  0,0139  0:  0,0178

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0042  3:  0,0117  4:  0,0007  5:  0,0012
6:  0,0061  7:  0,0000  8:  0,0094  9:  0,0071  0:  0,0194

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0053  3:  0,0163  4:  0,0048  5:  0,0025
6:  0,0412  7:  0,0104  8:  0,0217  9:  0,0059  0:  0,0361

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0016  3:  0,0011  4:  0,0020  5:  0,0002
6:  0,0230  7:  0,0003  8:  0,0113  9:  0,0091  0:  0,0409

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0017  3:  0,0175  4:  0,0014  5:  0,0003
6:  0,0216  7:  0,0015  8:  0,0136  9:  0,0047  0:  0,0214

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0037  3:  0,0117  4:  0,0023  5:  0,0002
6:  0,0161  7:  0,0009  8:  0,0080  9:  0,0084  0:  0,0271

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0088  3:  0,0335  4:  0,0012  5:  0,0066
6:  0,0345  7:  0,0002  8:  0,0169  9:  0,0180  0:  0,0341

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0027  3:  0,0184  4:  0,0018  5:  0,0060
6:  0,0262  7:  0,0007  8:  0,0097  9:  0,0100  0:  0,0250

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0023  2:  0,0093  3:  0,0081  4:  0,0004  5:  0,0002
6:  0,0184  7:  0,0002  8:  0,0107  9:  0,0038  0:  0,0235

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0009  2:  0,0056  3:  0,0123  4:  0,0028  5:  0,0001
6:  0,0231  7:  0,0011  8:  0,0056  9:  0,0055  0:  0,0308

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0012  3:  0,0235  4:  0,0001  5:  0,0089
6:  0,0249  7:  0,0002  8:  0,0405  9:  0,0021  0:  0,0325

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0013  3:  0,0122  4:  0,0068  5:  0,0030
6:  0,0127  7:  0,0005  8:  0,0287  9:  0,0056  0:  0,0241

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0009  2:  0,0068  3:  0,0165  4:  0,0016  5:  0,0036
6:  0,0164  7:  0,0009  8:  0,0164  9:  0,0188  0:  0,0232
```

Detecções com o filtro QUAL modificado (eq.6.14):

```
Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1:  0,0001  2:  0,0009  3:  0,0250  4:  0,0009  5:  0,0070
6:  0,0095  7:  0,0000  8:  0,0361  9:  0,0181  0:  0,0306

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0030  3:  0,0218  4:  0,0001  5:  0,0004
6:  0,0100  7:  0,0002  8:  0,0237  9:  0,0054  0:  0,0289

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1:  0,0024  2:  0,0000  3:  0,0190  4:  0,0002  5:  0,0023
6:  0,0255  7:  0,0009  8:  0,0229  9:  0,0079  0:  0,0337

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1:  0,0001  2:  0,0002  3:  0,0067  4:  0,0002  5:  0,0010
6:  0,0190  7:  0,0011  8:  0,0042  9:  0,0226  0:  0,0125

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0042  3:  0,0076  4:  0,0006  5:  0,0020
6:  0,0102  7:  0,0008  8:  0,0205  9:  0,0171  0:  0,0336

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1:  0,0006  2:  0,0029  3:  0,0184  4:  0,0007  5:  0,0125
6:  0,0235  7:  0,0009  8:  0,0145  9:  0,0204  0:  0,0371

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1:  0,0006  2:  0,0011  3:  0,0280  4:  0,0001  5:  0,0048
6:  0,0128  7:  0,0005  8:  0,0036  9:  0,0136  0:  0,0402

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1:  0,0025  2:  0,0000  3:  0,0038  4:  0,0011  5:  0,0088
6:  0,0235  7:  0,0004  8:  0,0093  9:  0,0178  0:  0,0182

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0040  3:  0,0134  4:  0,0005  5:  0,0015
6:  0,0037  7:  0,0000  8:  0,0073  9:  0,0102  0:  0,0191

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 100
1:  0,0003  2:  0,0055  3:  0,0181  4:  0,0044  5:  0,0028
6:  0,0360  7:  0,0106  8:  0,0189  9:  0,0086  0:  0,0352

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 150
1:  0,0000  2:  0,0018  3:  0,0019  4:  0,0015  5:  0,0003
6:  0,0185  7:  0,0003  8:  0,0095  9:  0,0124  0:  0,0407

Padrão detectado na linha 150 e na coluna 200
1:  0,0002  2:  0,0014  3:  0,0182  4:  0,0012  5:  0,0006
6:  0,0167  7:  0,0011  8:  0,0112  9:  0,0072  0:  0,0214

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 50
1:  0,0000  2:  0,0034  3:  0,0132  4:  0,0016  5:  0,0003
6:  0,0122  7:  0,0009  8:  0,0066  9:  0,0114  0:  0,0268

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0086  3:  0,0372  4:  0,0011  5:  0,0075
6:  0,0284  7:  0,0002  8:  0,0138  9:  0,0229  0:  0,0331

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 150
1:  0,0001  2:  0,0026  3:  0,0208  4:  0,0016  5:  0,0063
6:  0,0199  7:  0,0007  8:  0,0076  9:  0,0129  0:  0,0243

Padrão detectado na linha 200 e na coluna 200
1:  0,0026  2:  0,0099  3:  0,0094  4:  0,0003  5:  0,0003
6:  0,0139  7:  0,0002  8:  0,0092  9:  0,0055  0:  0,0230

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 50
1:  0,0010  2:  0,0049  3:  0,0145  4:  0,0025  5:  0,0003
6:  0,0180  7:  0,0012  8:  0,0042  9:  0,0082  0:  0,0295

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 100
1:  0,0000  2:  0,0012  3:  0,0253  4:  0,0001  5:  0,0094
6:  0,0201  7:  0,0003  8:  0,0361  9:  0,0034  0:  0,0325

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 150
1:  0,0004  2:  0,0013  3:  0,0139  4:  0,0069  5:  0,0034
6:  0,0094  7:  0,0004  8:  0,0254  9:  0,0081  0:  0,0234

Padrão detectado na linha 250 e na coluna 200
1:  0,0009  2:  0,0069  3:  0,0186  4:  0,0014  5:  0,0043
6:  0,0131  7:  0,0009  8:  0,0143  9:  0,0230  0:  0,0225
```

Os resultados obtidos nestas simulações para os dois filtros (original e proposto), para as quais um total de 400 padrões de dígitos (2 conjuntos x 10 imagens x 20 padrões por imagem) foram sobrepostos a um fundo branco corrompido com ruído uniforme, estão resumidos logo a seguir:

Tabela 6.5. Resumo dos percentuais de padrões detectados nas simulações com o filtro QUAL original e o filtro QUAL modificado por $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(9)}$.

Primeiro Conjunto:

Filtro QUAL Original	vezes	%
detecções corretas	200 / 200	100
detecções trocadas	-	-
perdas de detecção	-	-
falsas detecções	-	-

Filtro QUAL Modificado	vezes	%
detecções corretas	200 / 200	100
detecções trocadas	-	-
perdas de detecção	-	-
falsas detecções	-	-

Segundo Conjunto:

Filtro QUAL Original	vezes	%
detecções corretas	172 / 200	86
detecções trocadas	27 / 200	13,5
perdas de detecção	1 / 200	0,5
falsas detecções	-	-

Filtro QUAL Modificado	vezes	%
detecções corretas	182 / 200	91
detecções trocadas	17 / 200	8,5
perdas de detecção	1 / 200	0,5
falsas detecções	-	-

No primeiro conjunto, ambos os métodos foram perfeitos, com 100 % de detecções e nenhuma falsa-detecção.

Conforme esperado, o segundo método (que ajusta as $DSNR_2$ cruzadas) muito melhorou o índice de acertos (de 86% para 91%) do filtro QUAL atuando num sistema de reconhecimento, isto se comparado com o filtro QUAL original. Os principais resultados foram obtidos com as imagens dos dígitos "3", "9" e "0", onde o critério D indica uma baixa capacidade de discriminação do filtro original.

Mesmo quando o critério D é mais favorável ao filtro QUAL original (no caso dos dígitos "6" e "8"), a perda de desempenho não foi tão significativa. Para o dígito "6", houve apenas um erro a mais. Já para o dígito "8", cuja energia é a maior dentre todos os padrões (o que diretamente reduz o efeito do ruído), sequer houve um erro.

Um outro teste interessante foi realizado: os dois filtros utilizados nestas simulações foram convoluídos circularmente com as imagens de dígitos (vide figura 6.8) construídas com o auxílio de um processo simples de interpolação a partir de outra fonte (*Times New Roman*), ao invés da *Arial*. Vale observar que os dígitos da figura 6.1 também foram construídos usando o mesmo processo de interpolação, só que a partir de caracteres em fonte *Arial* 8pt. .

Nota-se que, para ambos os filtros, houve ainda uma taxa de acerto de 70 % (vide acertos com borda assinaladas e erros com fundo em cinza logo após a figura 6.8). Os únicos dígitos que não foram reconhecidos com sucesso foram o "1" (reconhecido como "9" ou perdido, dependendo dos limiares usados), o "8" (reconhecido como "0") e o "9" (reconhecido como "0" ou perdido, dependendo dos limiares usados).

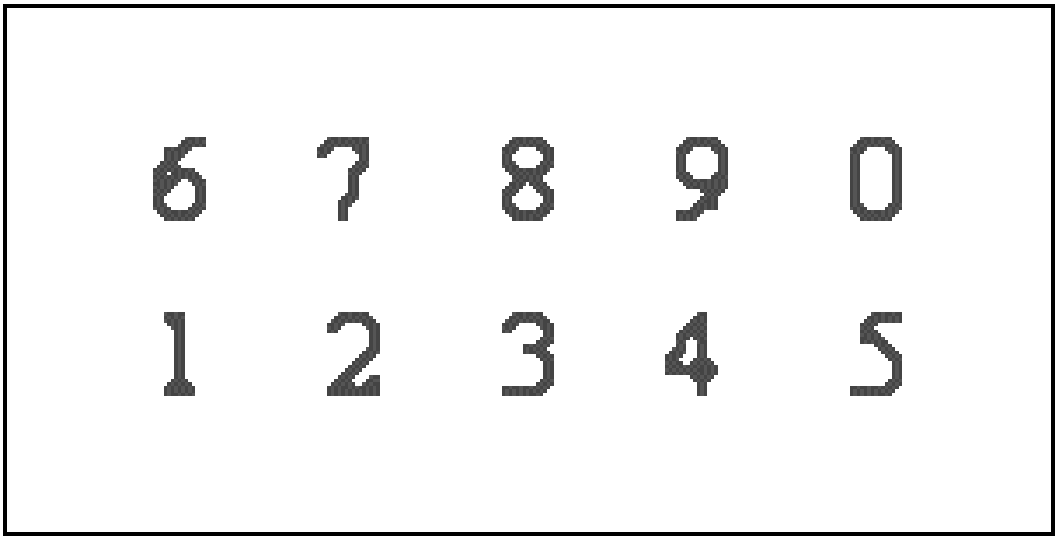


Figura 6.8. Imagem com dígitos construídos com o auxílio de um processo simples de interpolação a partir da fonte *Times New Roman.*

$DSNR_2$ cruzadas obtidas com o Filtro QUAL original:

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1: 0,0023 2: 0,0018 3: 0,0026 4: 0,0002
5: 0,0002 6: 0,0003 7: 0,0006 8: 0,0013
9: 0,0055 0: 0,0019

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1: 0,0000 2: 0,1098 3: 0,0240 4: 0,0002
5: 0,0002 6: 0,0019 7: 0,0008 8: 0,0293
9: 0,0029 0: 0,0413

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1: 0,0000 2: 0,0114 3: 0,0872 4: 0,0080
5: 0,0135 6: 0,0135 7: 0,0007 8: 0,0744
9: 0,0105 0: 0,0391

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1: 0,0307 2: 0,0006 3: 0,0095 4: 0,1489
5: 0,0025 6: 0,0006 7: 0,0098 8: 0,0064
9: 0,0016 0: 0,0022

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 250
1: 0,0003 2: 0,0002 3: 0,0013 4: 0,0003
5: 0,0083 6: 0,0025 7: 0,0039 8: 0,0000
9: 0,0000 0: 0,0037

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1: 0,0049 2: 0,0125 3: 0,0032 4: 0,0054
5: 0,0234 6: 0,0240 7: 0,0066 8: 0,0002
9: 0,0112 0: 0,0006

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1: 0,0061 2: 0,0021 3: 0,0029 4: 0,0021
5: 0,0001 6: 0,0001 7: 0,0649 8: 0,0026
9: 0,0006 0: 0,0009

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1: 0,0025 2: 0,0048 3: 0,0393 4: 0,0157
5: 0,0149 6: 0,0377 7: 0,0000 8: 0,0460
9: 0,0463 0: 0,0615

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1: 0,0001 2: 0,0038 3: 0,0034 4: 0,0108
5: 0,0066 6: 0,0022 7: 0,0005 8: 0,0085
9: 0,0000 0: 0,0181

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 250
1: 0,0006 2: 0,0102 3: 0,0404 4: 0,0011
5: 0,0068 6: 0,0603 7: 0,0010 8: 0,0422
9: 0,0255 0: 0,0867

$DSNR_2$ cruzadas obtidas com o Filtro QUAL modificado por $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(9)}$:

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 50
1: 0,0020 2: 0,0020 3: 0,0036 4: 0,0003
5: 0,0003 6: 0,0004 7: 0,0005 8: 0,0012
9: 0,0066 0: 0,0019

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 100
1: 0,0000 2: 0,1131 3: 0,0263 4: 0,0001
5: 0,0002 6: 0,0009 7: 0,0008 8: 0,0272
9: 0,0045 0: 0,0396

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 150
1: 0,0001 2: 0,0123 3: 0,0933 4: 0,0081
5: 0,0142 6: 0,0080 7: 0,0008 8: 0,0629
9: 0,0126 0: 0,0373

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 200
1: 0,0331 2: 0,0008 3: 0,0088 4: 0,1462
5: 0,0028 6: 0,0005 7: 0,0098 8: 0,0074
9: 0,0009 0: 0,0024

Padrão detectado na linha 50 e na coluna 250
1: 0,0004 2: 0,0002 3: 0,0014 4: 0,0002
5: 0,0103 6: 0,0015 7: 0,0048 8: 0,0000
9: 0,0001 0: 0,0039

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 50
1: 0,0051 2: 0,0126 3: 0,0039 4: 0,0048
5: 0,0280 6: 0,0199 7: 0,0073 8: 0,0005
9: 0,0126 0: 0,0005

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 100
1: 0,0056 2: 0,0019 3: 0,0026 4: 0,0020
5: 0,0000 6: 0,0000 7: 0,0708 8: 0,0026
9: 0,0008 0: 0,0009

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 150
1: 0,0026 2: 0,0048 3: 0,0449 4: 0,0138
5: 0,0162 6: 0,0300 7: 0,0000 8: 0,0382
9: 0,0518 0: 0,0643

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 200
1: 0,0002 2: 0,0047 3: 0,0038 4: 0,0099
5: 0,0067 6: 0,0015 7: 0,0005 8: 0,0090
9: 0,0003 0: 0,0180

Padrão detectado na linha 100 e na coluna 250
1: 0,0006 2: 0,0102 3: 0,0451 4: 0,0007
5: 0,0080 6: 0,0455 7: 0,0009 8: 0,0346
9: 0,0350 0: 0,0842

A seguir, está mostrado outro conjunto de simulações, onde a mesma frase, contendo todos os 10 dígitos, foi sobreposta à imagem da Lena por 4 vezes (2 em branco e 2 em preto). Para detectar os padrões de dígitos, o filtro QUAL (com $\mathbf{K}=\mathbf{K}^{(9)}$) varreu as janelas 9x9 ao redor de cada pixel da imagem. Como o filtro é 27x27, as janelas passaram, antes da filtragem, por um processo de interpolação semelhante ao que foi realizado para expandir o padrão de 9x9 para 27x27.

A figura 6.9 mostra todos os padrões que são detectados caso se use um critério simples baseado em limiar. Para evitar que uma janela 9x9, centrada num dígito, chegue

a alcançar o dígito adjascente (como ocorria na letra "E" *Arial* - vide Cap. 5), a primeira coluna de pixels foi substituída por uma cópia da segunda coluna, enquanto que a última foi substituída pela cópia da penúltima.

Como pode ser observado, o limiar igual a 0,07500 foi suficiente para a detecção de 100 % dos padrões. Todavia, 9 falsas-detecções ocorreram:

- a parte inferior da letra "e" foi detectada como se fosse um "3"; provavelmente isto ocorreu devido à semelhança com o padrão "9", o que gerou um impulso 6 linhas abaixo e 1 coluna à esquerda (isto porque as coordenadas dos picos de energia numa janela 27x27 do "3" e do "9" são respectivamente *(20,19)* e *(2,14)*);
- por 4 vezes, o "2" deslocado 2 linhas acima e 1 coluna à direita ofereceu energia o suficiente para acusar o padrão "8" (vide tabela 6.1 - pois as coordenadas dos centros do "2" e do "8" são respectivamente *(2,5)* e *(8,8)*);
- por 4 vezes, o "1" deslocado 1 linha abaixo e 2 colunas à direita ofereceu energia o suficiente para acusar o padrão "7" (vide tabela 6.1 - pois as coordenadas dos centros do "1" e do "7" são respectivamente *(23,23)* e *(20,2)*, ou seja, circularmente distantes de *(3,-6)*).

A primeira falsa-detecção seria de difícil conserto. Contudo, as outras 8 seriam fáceis. Conforme observado na tabela 6.6, que mostra as $DSNR_2$ obtidas durante a filtragem, o problema envolvendo os dígitos "2" e "8" seria solucionado simplesmente adicionando-se a seguinte regra ao critério de detecção: *em caso dois dígitos sejam detectados a uma distância inferior a 8 pixels, o dígito com menor $DSNR_2$ deve ser descartado*. Já para resolver a questão envolvendo o "1" e o "7", deve-se acrescentar à regra anterior a seguinte ressalva: *... exceto se o "1" for um dos dígitos detectados, pois, neste caso, o outro é quem deve ser descartado*. Esta ressalva é matematicamente aceitável, pois o padrão "1", por ser muito estreito, continua cabendo totalmente dentro da janela 9x9 após ser deslocado, o que provoca sempre um impulso numa das amostras de saída do filtro QUAL, como aconteceu nos casos em que houve as falsas-detecções do dígito "7". A figura 6.10 apresenta um diagrama em blocos com todas as etapas e ressalvas aqui descritas para um algoritmo de detecção mais eficiente.

(a) "1" detectados.

(b) "2" detectados.

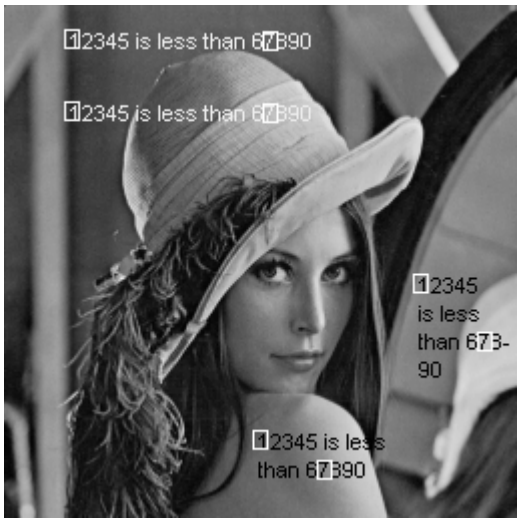
(c) "3" detectados.

(d) "4" detectados.

(e) "5" detectados.

(f) "6" detectados.

Figura 6.9. Imagem com dígitos (*Arial,* 8pt.) sobrepostos à Lena (continua...).



(g) "7" detectados.

(h) "8" detectados.

(i) "9" detectados.

(j) "0" detectados.

Figura 6.9. (continuação...) Imagem com dígitos (*Arial,* 8pt.) sobrepostos à Lena.

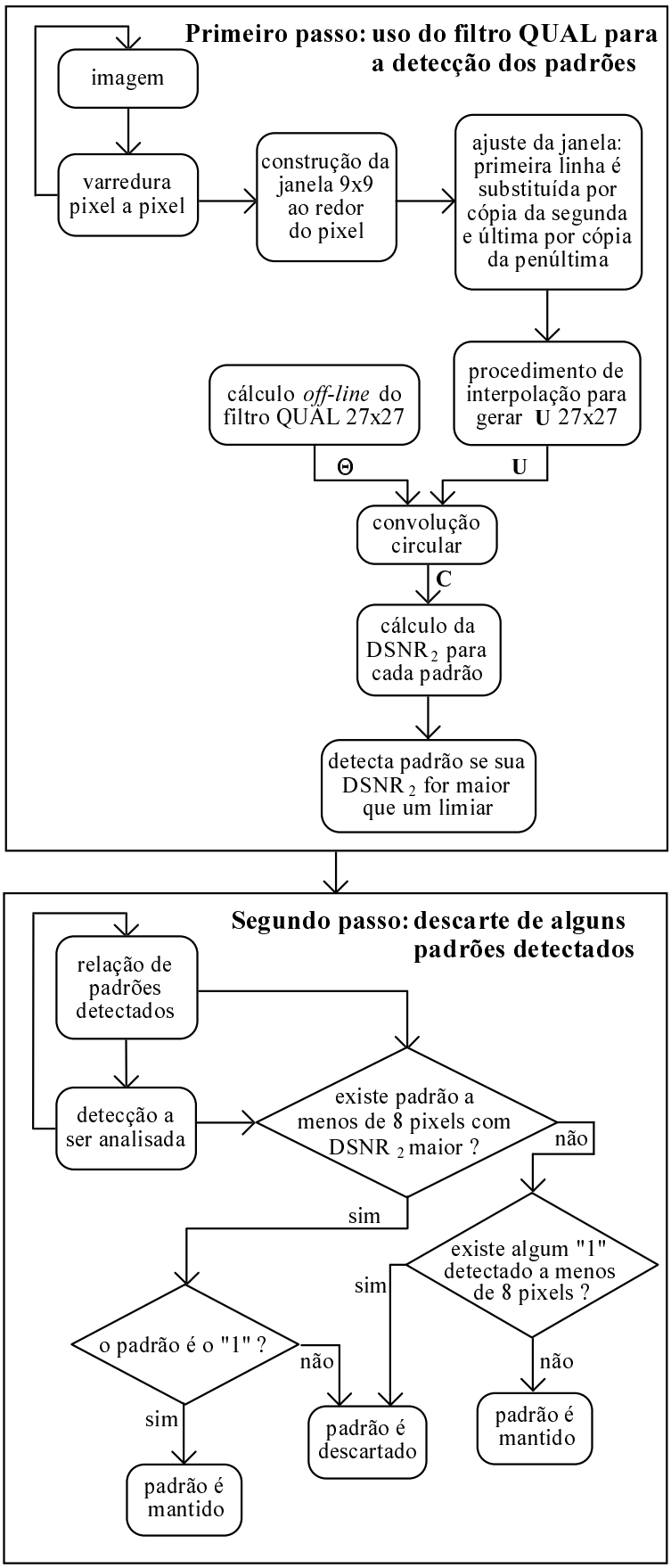


Figura 6.10. Algoritmo completo para a detecção de dígitos.

Tabela 6.6. $DSNR_2$ geradas pelo filtro QUAL com $\mathbf{K} = \mathbf{K}^{(9)}$. Os valores referem-se às detecções de cima para baixo, da esquerda para direita. O limiar arbitrado foi de 0,07500.

Padrão	$DSNR_2$ das detecções corretas				$DSNR_2$ das falsas detecções			
"1"	0,10090	0,09881	0,09508	0,09686				
"2"	0,12478	0,12671	0,12470	0,13159				
"3"	0,12225	0,11864	0,12164	0,11725	0,07968			
"4"	0,09793	0,10267	0,09862	0,10304				
"5"	0,10377	0,10215	0,10465	0,11039				
"6"	0,09760	0,07740	0,09114	0,08849				
"7"	0,11269	0,08819	0,10846	0,10926	0,10660	0,09775	0,10327	0,10725
"8"	0,12006	0,10643	0,12025	0,11907	0,08679	0,08699	0,08603	0,08707
"9"	0,10500	0,10925	0,10727	0,10699				
"0"	0,08228	0,09690	0,08218	0,08388				

6.5. Conclusões

Neste capítulo, inicialmente tomou-se um sistema de reconhecimento envolvendo os 10 dígitos numéricos baseado em um único filtro linear do tipo QUAL, definido no capítulo anterior.

Em seguida, definiu-se a *Relação Sinal-Ruído Discriminativa Cruzada* (ou $DSNR_2$ cruzada). Aplicando o conceito de $DSNR_2$ cruzada no referido sistema de reconhecimento, foram estabelecidos 5 critérios objetivos que medem a eficiência do filtro discriminativo.

Foi mostrado então que o filtro QUAL, tal qual apresentado no Capítulo 5, é precário na discriminação dos dígitos "3", "9" e "0" na presença de um ruído mais intenso. Foi proposto então um algoritmo que equaliza as $DSNR_2$ cruzadas, de forma a reduzir aquelas mais problemáticas, em detrimento de um aumento naquelas não tão críticas.

As simulações confirmaram todas as expectativas geradas pelo processo proposto, corroborando a coerência matemática de todas os passos da formulação apresentada. Em termos numéricos, as estatísticas mostraram que a taxa de acertos que o sistema oferece subiu de 86 % para 91 %, isto quando os padrões são fortemente corrompidos por ruído. Vale ressaltar que todo o sistema de reconhecimento está baseado num único filtro linear bidimensional !

De todo o exposto, ressalta-se que a ferramenta apresentada neste capítulo é bastante interessante por sua simplicidade e pode ser utilizada como alternativa a complexos classificadores não-lineares.

7. Conclusões

7.1. Resultados Relevantes da Tese

Este trabalho de tese apresentou diversas contribuições científicas com resultados originais, tendo gerado publicações ao longo de seu desenvolvimento, conforme a listagem mostrada no Capítulo 1.

O Capítulo 2 apresentou um método simples e eficiente para segmentar uma imagem em um conjunto com poucas regiões caracterizadas pelas mesmas estatísticas locais que, no caso, foram a CDM e SDV, conforme definidas na Seção 2.2. As simulações mostraram o quanto os contornos e as formas geométricas presentes nas imagens da Lena, Hardware e Casa de Campo ficaram bem caracterizados, o que foi suficiente para o aproveitamento deste algoritmo como ferramenta para o desenvolvimento do restante da tese.

Em seguida, no Capítulo 3, explorou-se o tema "filtragem discriminativa", inicialmente apresentando-se o problema clássico formulado para sinais de uma dimensão e posteriormente estendendo-se o problema para duas dimensões. Neste capítulo, as soluções foram obtidas através de processos numéricos de otimização e os resultados práticos, conforme as simulações, foram encorajadores.

Em seguida, no Capítulo 4, o problema da filtragem discriminativa foi abordado de forma diferente, através de um paralelo com o problema de restauração do impulso. Por oferecer soluções analíticas, os resultados obtidos foram muito mais precisos do que os obtidos no Capítulo 3.

No Capítulo 5, estendeu-se o leque de aplicações da filtragem discriminativa com as propostas de filtros com a habilidade de combinar mais de um padrão. Primeiramente, apresentou-se o filtro do tipo OU, que responde a qualquer um dos padrões pertencentes a um conjunto escolhido, e, posteriormente, o filtro do tipo QUAL, com a habilidade extra de poder decidir por qual padrão do conjunto. As simulações mostraram bons desempenhos em sistemas baseados nestes tipos de filtro.

Mostrando inicialmente uma aplicação de reconhecimento de dígitos numéricos usando filtros do tipo QUAL, constatou-se no Capítulo 6 que, na presença de ruído, é possível haver dúvida numa decisão envolvendo dígitos morfologicamente muito

parecidos, como o "3" e o "8", já que podem causar a discriminação cruzada, isto é, a possibilidade de uma decisão trocada (por exemplo: o dígito "3" entra no sistema, mas o sistema o reconhece como "8"). Foi então proposto um algoritmo que trabalha de forma eficiente na redução da discriminação cruzada, como mostrado na simulação envolvendo 200 padrões de dígitos fortemente corrompidos por ruído, na qual a taxa de acertos subiu de 86 % para 91 %.

Então, pode-se concluir que esta tese apresentou uma alternativa viável, pelo fato de ser computacionalmente barata e baseada em uma simples filtragem linear, para complexos sistemas de reconhecimento ou classificadores não-lineares, sendo que as possíveis aplicações para os algoritmos aqui propostos muito mais que extrapolam aquelas que foram apresentadas nesta tese.

7.2. Propostas para Futuros Trabalhos

Como propostas para futuros trabalhos, citam-se:

- algoritmo de segmentação e restauração que separe textos do fundo da imagem, visando ao reconhecimento automático de caracteres via filtragem discriminativa, mesmo na presença de um fundo com muitas arestas;

- algoritmo para a leitura rápida e automática de placas de veículos usando filtragem discriminativa;

- algoritmo que, com base num conjunto de padrões detectados, separe formas geométricas básicas dentro de uma imagem;

- algoritmo que obtenha o filtro discriminativo ótimo para um padrão que possa morfologicamente variar segundo alguma distribuição estatística;

- algoritmo para a discriminação de padrões que atue especificamente em parâmetros da imagem invariantes a transformações por escala ou rotação.

Referências

[1] ISO/MPEG 90/176, *Coding of Moving Pictures and Associated Audio*, Committee Draft of Standard ISO 11172, 1990.

[2] PAPPAS, T.N. "An Adaptative Clustering Algorithm for Image Segmentation", *IEEE Transactions on Signal Processing*, SP-40(4):901-914,1992.

[3] BOUKERROUI, D., BASSET, O., BASKURT, A. "Multiresolution Adaptative Image Segmentation Based on Global and Local Statistics". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[4] LIM, D.K., Ho, Y.S. "Image Segmentation Using Hierarchical Meshes". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[5] WON, C.S. "Improved Block-Based Image Segmentation". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[6] ARIE, J.B., RAO, R. "A Novel Approach for Template Matching by Nonorthogonal Image Expansion", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v.3, n. 1, 1993.

[7] NANDY, D., ARIE, J.B. "EXM Eigen Templates for Detecting and Classifying Arbitrary Junctions". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Chicago-EUA, 1998.

[8] RAO, K.R., ARIE, J.B. "Multiple Template Matching Using the Expansion Filter", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v.4, n.5, Out.1994.

[9] ABU-NASER, A., *Impulse Restoration-Based Template-Matching*. Ph. D. dissertation, University of Illinois at Chicago, Chicago-EUA, 2000.

[10] ABU-NASER, A., GALATSANOS, N.P., WERNICK, M.N. "Impulse Restoration-Based Template-Matching Using the Expectation-Maximization

Algorithm". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão,1999.

[11] JI, Q., HARALICK, R.M. "An Optimal Bayesian Hougth Transform for Line Detection". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[12] CHAN, M.T. "Automatic Lip Model Extraction for Constrained Countour-Based Tracking". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[13] LAI, G.C., FIGUEIREDO, R.J.P. "Robust Extraction of Low Contrast Edges Using Clustering-Based Segmentation and Refinement". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[14] JI, Q., HARALICK, R.M. "Quantitative Evaluation of Edge Detectors Using the Minimum Kernel Variance Criterion". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[15] ABDOU, K.E., PRATT, W.K. "Quantitative Design and Evaluation of Enhancement/Thresholding Edge Detectors". In: *Proceedings of the IEEE*, 67(5)753-763,1979.

[16] SONG, Y.W., UDPA, S.S. "A New Edge Detection Algorithm Using Data Fusion Approaches". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[17] RAO, R. ARIE, J.B., "Optimal Edge Detection Using Expansion Matching and Restoration", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.16, n. 12, 1994.

[18] WANG, Z., RAO, R., ARIE, J.B.., "Optimal Ramp Edge Detection Using Expansion Matching", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v.18, n. 11, 1996.

[19] BELLON, O.R.P., DIRENE, A.I., SILVA, L. "Edge Detection to Guide Range Image Segmentation by Clustering Techniques". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[20] LI, Y., HATZINAKOS, D., VENETSANOPOULOS, A.N. "A Multi-Frame Region-Feature Based Techinique for Motion Segmentation". In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Kobe-Japão, 1999.

[21] DARRELL, T., PENTLAND, A. "Robust Estimation of a Multi-Layered Motion Representation". In: *Proceedings of the IEEE Workshop on Visual Motion*, pp. 173-178, 1991.

[22] BLACK, M.J., JEPSON, A. "Estimation Multiple Independent Motions in Segmented Images Using Parametric Models with Local Deformations". In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computacional Vision Pattern Recognition*, 1994.

[23] TOU, J.T., GONZALEZ, R.C., *Pattern Recognition Principles*. Addison Wesley, 1974.

[24] RAO, K.R., ARIE, J.B., "Multiple Template Matching Using the Expansion Filter", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, v.4, n.5, out.1994.

[25] MONTEIRO, J.B., *Identificação de Sistemas Dinâmicos Não Lineares*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

[26] VAN TREES, H.L., *Detection, Estimation and Modulation Theory*. Parte I. John Wiley and Sons Inc., EUA, 1968.

[27] OPPENHEIM, A.V., SCHAFER, R.W., *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall, EUA, 1989.

[28] GOLUB, G.H., LOAN, C.F.V., *Matrix Computations*, 2ª ed. The Johns Hopkins University Press, Inglaterra, 1989.