



ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE MÉTODOS DE LIMIARIZAÇÃO DE IMAGEM QR CODE EM DISTINTOS PADRÕES DE LUMINOSIDADE

Lesly Viviane Montúfar Berrios^{*1}, Luciano Xavier Medeiros^{†2} e Alexandre Coutinho Mateus^{‡2}

¹FEELT - Universidade Federal de Uberlândia

²FEELT - Professor Adjunto - Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - O objetivo do artigo é o desenvolvimento de métodos de binarização para imagens de QR Codes em diferentes padrões de luminosidade e a subsequente análise de eficiência de cada técnica proposta. Sabe-se que, intrínseco ao processo de reconhecimento do um símbolo QR, é necessária a aplicação de uma técnica de binarização, a qual é influenciada pela iluminação ambiente. Sob essa perspectiva, é de interesse avaliar quais seriam os métodos ótimos considerando-se as peculiaridades do ambiente de captura da imagem.

Palavras-Chave - Análise de eficiência, binarização, luminosidade, QR Codes.

EFFICIENCY ANALYSIS OF THRESHOLDING METHODS OF QR CODE IMAGES IN DIFFERENT BRIGHTNESS PATTERNS

Abstract - The purpose of the article is the development of thresholding methods for QR Codes images in different brightness patterns and the subsequent efficiency analysis of each proposed technique. It is known that, intrinsic to the recognition process of the QR symbol, it is necessary to apply a binarization method, which is influenced by ambient lighting. From this perspective, it is interesting to evaluate what would be the optimal methods considering the peculiarities of the shooting environment.

Keywords - Brightness, Efficiency analysis, QR Codes, thresholding.

I. INTRODUÇÃO

Com surgimento no Japão em 1994, os Quick Response Codes (QR Codes) são marca registrada da empresa Denso-Wave Incorporated, uma subsidiária da Toyota, cujo propósito de criação estava em facilitar o processo de catalogação de componentes automobilísticos [1]. Entretanto, sua utilização não se atreve a essa finalidade, devido à grande velocidade em que podem ser lidos e decodificados eletronicamente. Além

disso, é uma ferramenta que tem sido bastante difundida mundialmente, devido ao rápido desenvolvimento de dispositivos portáteis capazes de ler QR Codes e ao crescente uso comercial, principalmente associado à área de marketing.

Em termos práticos, a utilização de telefones celulares, câmeras digitais ou outros equipamentos para a coleta da imagem de código QR pode apresentar empecilhos significantes para o reconhecimento do símbolo, devido tanto a fatores do ambiente, quanto ao manuseio do usuário. Sob essa perspectiva, o ambiente de captura mostra-se como aspecto de bastante relevância e está associado, principalmente, a irregularidades na iluminação. Outrossim, o manuseio do equipamento pelo usuário pode ocasionar a distorção geométrica, problemática que pode ser minimizada, por exemplo, como propõe Wei et al. [2], por meio de um método de correção de imagem de código QR com base em morfologia e Hough Transform. Suran [3] propôs um algoritmo de correção de imagem de código QR baseado em Algoritmo de Detecção de Canto e Casco Convexo. Chen et al. [4] apresentou um método de correção de imagem de código QR de acordo com a fórmula de transformação afim. Jin et al. [5] propôs algoritmo de correção de imagem de código QR baseado na transformada wavelet.

A temática deste artigo, no entanto, contempla os obstáculos devido a padrões de iluminação irregulares. Ademais, atentar-se, deve, acerca do tipo de imagem que se espera trabalhar, ou seja, comumente de baixo contraste, o que é relevante na escolha do processamento adequado. Por isso, idealizou-se três métodos baseados na limiarização, os quais foram aplicados e recolhidos dados sobre imagens QR Code obtidas em padrões de iluminação diferentes. Dessa maneira, propõe-se verificar o nível de correspondência de imagens de código QR submetidas a métodos de binarização distintos, para assim poder determinar o mais eficiente e estabelecer uma relação com o ambiente de captura.

Como é de interesse o problema de iluminação irregular, o ideal seria que, nas imagens, os símbolos QR estivessem posicionados de forma a não apresentar o segundo problema, a distorção geométrica. Entretanto, uma vez que as capturas foram realizadas livremente, sem auxílio de equipamentos sofisticados, a fim de simular a situação real, a distorção foi

^{*}leslymontufar@ufu.br

[†]lucianox@ufu.br

[‡]acmateus@ufu.br

inevitável, porém mínima.

Na Seção II serão apresentadas características básicas dos QR Codes. Na Seção III, o procedimento realizado para a coleta de imagens e exemplificação do impacto provocado pelos fatores ambientais. Já na Seção IV, são descritos e exemplificados os algoritmos das técnicas de binarização desenvolvidas, assim como realizada a análise de eficiência para as imagens do exemplo. Finalmente, na Seção V, discute-se acerca dos resultados obtidos com os métodos propostos neste artigo.

II. CARACTERÍSTICAS DOS CÓDIGOS QR

O codificação QR baseia-se na disposição de pequenos quadrados, normalmente de cores preta ou branca. Esses são denominados módulos e possuem certa dimensão em píxel. Além disso, o tamanho do código é determinado pelo número de versão, considerando que a Versão 1 possui dimensão de 21×21 módulos e às versões subsequentes há o acréscimo linear de 4 módulos, ou seja, a Versão 2 possui dimensões de 25×25 , a Versão 3 tem 29×29 , e assim por diante.

Apresenta também uma técnica de correção de erro, a qual permite a decodificação e, por conseguinte, obtenção da informação contida na imagem, mesmo que se encontre danificada. Isso é devido à inserção de dados redundantes ao código, logo quanto maior a capacidade de correção, menor o espaço para o armazenamento de dados. A Tabela 1 descreve os 4 possíveis níveis de correção de erro.

Tabela 1: Níveis de Correção de Erro.

Nível de correção de erro	Capacidade de correção
L	Recupera 7% dos dados
M	Recupera 15% dos dados
Q	Recupera 25% dos dados
H	Recupera 30% dos dados

Além disso, a estrutura do código constitui-se de duas principais regiões: *região de codificação* e *elementos funcionais* (Veja Figura 1). A região de codificação inclui a *Informação de Formatação* e *de Versão*, além das *Palavras Chaves de Dados* e *de Correção de Erro*. Já os elementos funcionais são compostos pelo *Padrões Identificadores*, *Separador*, *Padrões de Temporização* e *Padrões de Alinhamento*. Assim, quando uma imagem de QR Code é capturada, busca-se por esses padrões para o reconhecimento e decodificação rápida dos dados [7].

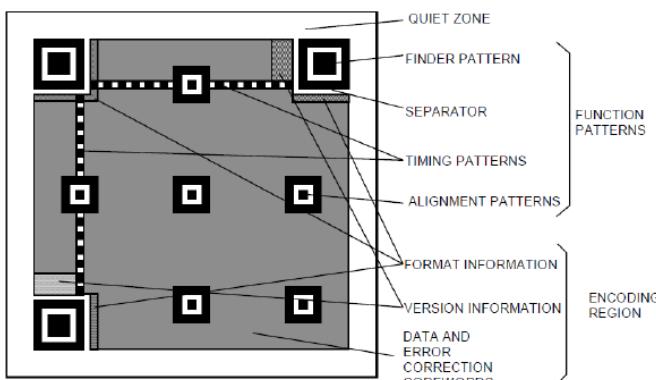


Figura 1: Regiões de um QR Code, ilustrado em símbolo da Versão 7 [6].

III. METODOLOGIA

A. Coleta das imagens QR Code

Foram gerados 13 QR Codes, de versões e níveis de correção de erro distintos (Veja Tabela 2), que foram impressos em folhas A4, sendo 4 imagens por página só frente, fato que influencia no tamanho da imagem a ser coletada, por conseguinte, em sua resolução. Em seguida, buscou-se locais com diferentes padrões de luminosidade, a fim de simular variadas situações enfrentadas pela tecnologia de reconhecimento.

Tabela 2: QR Codes gerados.

Nome da Imagem	Versão	Nível de Correção de Erro
QR Code 1	3	L
QR Code 2	4	L
QR Code 3	5	L
QR Code 4	6	M
QR Code 5	8	H
QR Code 6	8	Q
QR Code 7	10	H
QR Code 8	12	H
QR Code 9	13	H
QR Code 10	17	H
QR Code 11	29	L
QR Code 12	38	H
QR Code 13	39	Q

Escolhidos três ambientes, utilizou-se a câmera de um celular (*Samsung SM-J730G*) de 13 Mpx para realizar a captura dos QR Codes impressos. Assim, obteve-se 39 imagens no formato *jpg* de resolução 4128×3096 . Verifica-se na Figura 3, que distintos padrões de luminosidade sobre um mesmo código QR podem exigir diferentes métodos de binarização, inferido também pela análise dos histogramas. Percebe-se maior uniformidade para o padrão de iluminação 1, provocando, assim, concentração de intensidades de píxeis em dois modos, enquanto que no padrão 2 identificam-se essencialmente três modos. Outrossim, do histograma para o padrão de iluminação 3, comprova-se a natureza escura da imagem, haja vista que a maioria dos píxeis possui intensidade inferior a 100.

B. Procedimento realizado sobre as capturas de imagem

No fluxograma da Figura 2, visualiza-se o procedimento realizado sobre cada imagem capturada, a fim de se obter os dados da Seção V. Após a captura da imagem, é realizada a transformação para a escala de cinza, para logo depois reduzir ainda mais o espectro de cores da imagem mediante a aplicação do método de binarização (Veja Seção IV). Feito isso, é possível a comparação com o código QR gerado, o que permite gerar as imagens diferença, nas quais os píxeis de divergência entre a imagem gerada e a capturada são marcados na cor vermelha e, em seguida, contabilizados de maneira percentual para cada método desenvolvido e descrito na Seção IV.

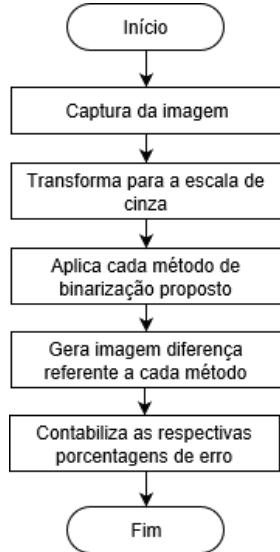


Figura 2: Fluxograma do procedimento realizado sobre cada imagem.

IV. MÉTODOS DE BINARIZAÇÃO DE QR CODE

A binarização ou limiarização é uma função de transformação de intensidade baseadas em pontos de corte ou limiares. No caso da utilização de somente um limiar T (do inglês *Threshold*) obtém-se uma imagem de dois níveis ou binária, descrita matematicamente pela Equação (1), na qual 0 e 255 são, respectivamente, as cores preta e branca para imagens em níveis de cinza codificadas em 8 bits.

$$g(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{se } f(x, y) \leq T \\ 255 & \text{se } f(x, y) > T \end{cases} \quad (1)$$

São propostos, neste trabalho, os seguintes métodos: (A) *Binarização com Limiar Constante*; (B) *Binarização Pós Equalização por Histograma*; (C) *Binarização em Sub-Regiões*. A seguir, são descritos os métodos desenvolvidos e utiliza-se imagens de um mesmo QR Code para melhor compreensão, as quais apresentam também interessantes condições de iluminação para análise (Veja Figura 3).

A. Binarização com Limiar Constante (LF e LV)

O primeiro método proposto neste artigo consiste na binarização da imagem a partir de dois limiares distintos. Um fixo $T_1 = 128$, valor correspondente à metade da escala de cinza (*Método do Limiar Fixo - LF*), e um variável, calculado como a intensidade média da imagem analisada, $T_2 = M$ (*Método do Limiar Variável - LV*). Portanto, tem-se as funções de transformação descritas, respectivamente, pelas Equações (2) e (3).

$$g_{LF}(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{se } f(x, y) \leq 128 \\ 255 & \text{se } f(x, y) > 128 \end{cases} \quad (2)$$

$$g_{LV}(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{se } f(x, y) \leq M \\ 255 & \text{se } f(x, y) > M \end{cases} \quad (3)$$

Aplicando-se essas transformações no QR Code 3 (Veja Tabela 2) obteve-se as imagens das Figuras 4 e 5, nas quais verifica-se a eficiência do método sobre padrões de iluminação mais uniformes, visualizando-se os píxeis de erro das imagens diferença ou na Tabela 3.

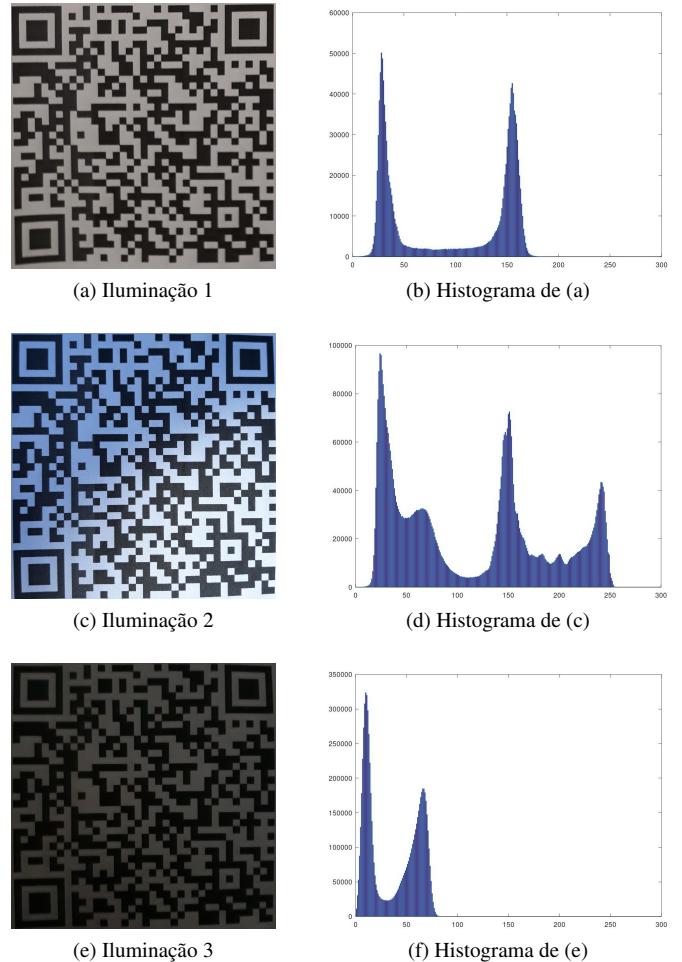


Figura 3: Exemplos de imagens de um mesmo QR Code nos três diferentes padrões de iluminação e seus respectivos histogramas.

Observe, na Figura 4, que a técnica *LF* sobre a imagem no padrão de Iluminação 3 obteve resultado desvantajoso, uma vez que a baixa iluminação do local levou ao escurecimento total da imagem, o que inviabiliza o reconhecimento do símbolo. Infere-se, assim, que a intensidade de todos os pixels da imagem são inferiores a 128. Já na Figura 5, a técnica *LV* revelou menor erro para esse padrão e, agora, é visível o símbolo QR (Veja Tabela 3).

Entretanto, não existe relação fixa de eficácia entre os métodos de binarização com limiar constante, uma vez que nem sempre a aplicação do método *LV* trará resultado mais favorável que o *LF*. Deve-se considerar que os píxeis pretos intrínsecos ao código afetam na determinação da intensidade média M relativa à imagem, por conseguinte quanto maior o tamanho do símbolo, ou seja maior número de versão, maior será a quantidade de píxeis escuros intrínsecos ao código que influenciará o valor M . Para essas situações *LF* pode ser método ótimo ou pelo menos superior a *LV*, o que é enfatizado nos resultados obtidos para as imagens do segundo padrão de QR Codes de versões mais elevadas (Veja Tabela 5).



(a)



(b)



(a)



(b)



(c)



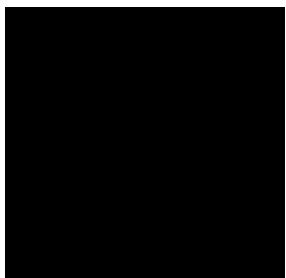
(d)



(c)



(d)



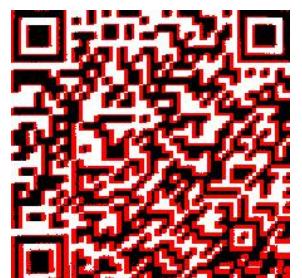
(e)



(f)



(e)



(f)

Figura 4: Imagens resultantes da binarização com limiar fixo $T_1 = 128$ para o QR Code 3 nos três padrões de iluminação em (a), (c) e (e), com suas respectivas imagens diferença em (b), (d) e (f).

Figura 5: Imagens resultantes da binarização com limiar variável $T_2 = M$ para o QR Code 3 nos três padrões de iluminação em (a), (c) e (e), com suas respectivas imagens diferença em (b), (d) e (f).

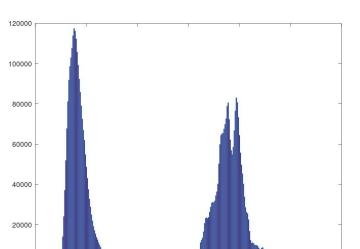
B. Binarização Pós Equalização por Histograma (EH)

Outra técnica de binarização proposta por este artigo consiste em duas etapas. Realiza-se, primeiramente, a equalização por histograma da imagem do QR Code, por meio da função `histeq()` inclusa no pacote *image* do *Octave*, para em seguida aplicar a binarização com limiar correspondente a intensidade média de nível de cinza M da imagem equalizada. Na Figura 7 estão os resultados relativos a essa técnica.

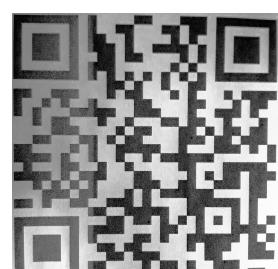
De acordo com Gonzalez e Woods [9], a equalização de histograma tem como objetivo redistribuir os valores de níveis de cinza do píxeis, de forma a obter uma melhora no contraste da imagem. Assim, a equalização da imagem resultará em uma intensidade média M distinta, a qual pode adequar-se melhor ou não aos propósitos da binarização. Na Figura 6, observa-se o espalhamento das barras do histograma sobre a escala de cinza após a equalização. Nesse exemplo é utilizada a Imagem 14, na qual a técnica *EH* obteve resultado ótimo.



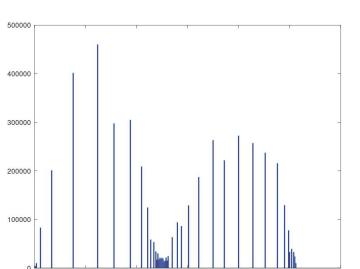
(a) Imagem 14



(b) Histograma de (a)



(c) Imagem equalizada



(d) Histograma de (c)

Figura 6: QR Code 1 no segundo padrão de iluminação em (a) e imagens associadas em (b), (c) e (d).



(a)



(b)



(a)



(b)



(c)



(d)



(c)



(d)



(e)



(f)



(e)



(f)

Figura 7: Imagens resultantes da binarização pós equalização por histograma para o QR Code 3 nos três padrões de iluminação em (a), (c) e (e), com suas respectivas imagens diferença em (b), (d) e (f).

C. Binarização em Sub-Regiões (S)

Já neste outro método proposto, a imagem é, primeiramente, subdividida em n regiões retangulares, assim, cada uma é binarizada utilizando-se a intensidade média M como limiar, para depois unirem-se em uma imagem só binarizada. Escolheu-se $n = 9$, quantidade considerada suficiente para observar claramente o efeito desse método sobre as capturas de imagem QR Code. Na Figura 8 observa-se os resultados obtidos e, da Tabela 3, afirma-se que obteve baixo nível de erro, com excessão da imagem no segundo padrão de iluminação, cuja irregularidade acentuada provocou que, na separação, as regiões mais claras fossem mais afetadas pelos níveis de intensidades mais escuros intrínsecos do código.

D. Análise erros final para as capturas do QR Code 3

A aplicação dos diferentes métodos de binarização desenvolvidos e a subsequente comparação com o símbolo QR representado nas imagens de cada padrão permitiu a elaboração da Tabela 3. Nela são contemplados os erros a associados a cada método aplicados nos 3 padrões de iluminação.

Figura 8: Imagens resultantes da binarização pós subdivisão em sub-regiões retangulares para o QR Code 3 nos três padrões de iluminação, com suas respectivas imagens diferença.

Percebe-se a concentração dos erros associados em intervalos bem definidos para os padrões luminosidade 1 e 2, uma vez que as intensidades dos pixels estão melhor distribuídas ao longo da escala de cinza (Veja os histogramas da Figura 3). Isso não ocorre para o terceiro padrão devido à sua natureza escura, além disso verifica-se melhores resultados para técnicas que envolvem mais de uma etapa, ou seja, Métodos EH e S, uma vez que é necessária primeiramente a otimização do contraste da imagem a fim de se obter um limiar médio M mais adequado.

Tabela 3: Erros associados às capturas de imagem do QR Code 3

Método	Iluminação 1	Iluminação 2	Iluminação 3
LF	15,27%	20,33%	49,89%
LV	13,97%	20,73%	34,73%
EH	14,26%	20,33%	34,24%
S	13,66%	21,00%	23,43%

V. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Aplicando-se o processo descrito pelo fluxograma da Figura 2 em todas as imagens coletadas, obtém-se os dados das

Tabelas 4, 5 e 6, as quais informam o método ótimo para cada imagem e o respectivo erro associado a ele. Note a separação em conformidade com o padrão de iluminação ao qual o QR Code foi submetido. Além disso, percebe-se melhor aceitação de métodos mais diretos, como *LF* e *LV*, em ambientes mais claros, como o primeiro e segundo padrão de iluminação, da mesma forma que ambientes mais escuros ou com irregularidade expressiva podem requerer pré-processamento, como ocorre nos *Métodos EH* e *S*, com o intuito de uniformizar a imagem e, assim, poder executar a binarização utilizando-se um limiar médio mais adequado.

Tabela 4: Primeiro padrão de iluminação.

Nome da Imagem	Nome do QR Code	Erro (%)	Método
Imagen 01	QR Code 1	5,45	LF
Imagen 02	QR Code 2	11,14	LV
Imagen 03	QR Code 3	13,66	S
Imagen 04	QR Code 4	14,20	LV
Imagen 05	QR Code 5	11,77	LF
Imagen 06	QR Code 6	21,00	LF
Imagen 07	QR Code 7	30,97	LV
Imagen 08	QR Code 8	35,79	EH
Imagen 09	QR Code 9	7,64	S
Imagen 10	QR Code 10	25,63	LV
Imagen 11	QR Code 11	47,28	EH
Imagen 12	QR Code 12	45,22	EH
Imagen 13	QR Code 13	28,69	LV

Tabela 5: Segundo padrão de iluminação.

Nome da Imagem	Nome do QR Code	Erro (%)	Método
Imagen 14	QR Code 1	10,78	EH
Imagen 15	QR Code 2	7,43	LF
Imagen 16	QR Code 3	20,33	LF
Imagen 17	QR Code 4	19,91	EH
Imagen 18	QR Code 5	37,88	EH
Imagen 19	QR Code 6	22,23	LF
Imagen 20	QR Code 7	25,61	LF
Imagen 21	QR Code 8	24,43	S
Imagen 22	QR Code 9	37,59	LF
Imagen 23	QR Code 10	21,76	S
Imagen 24	QR Code 11	45,61	S
Imagen 25	QR Code 12	35,39	S
Imagen 26	QR Code 13	47,12	LF

Tabela 6: Terceiro padrão de iluminação.

Nome da Imagem	Nome do QR Code	Erro (%)	Método
Imagen 27	QR Code 1	10,08	S
Imagen 28	QR Code 2	16,21	S
Imagen 29	QR Code 3	23,43	S
Imagen 30	QR Code 4	11,45	S
Imagen 31	QR Code 5	22,38	S
Imagen 32	QR Code 6	20,69	S
Imagen 33	QR Code 7	31,68	S
Imagen 34	QR Code 8	11,75	EH
Imagen 35	QR Code 9	21,33	EH
Imagen 36	QR Code 10	23,97	S
Imagen 37	QR Code 11	41,15	S
Imagen 38	QR Code 12	38,25	LV
Imagen 39	QR Code 13	28,88	S

VI. CONCLUSÕES

A tecnologia de reconhecimento de QR Code enfrenta problemas significativos provocados principalmente pelo ambiente de filmagem, a exemplo disso cita-se a iluminação irregular no momento da captura da imagem. Por isso, é necessária a aplicação de um método de binarização, nesse sentido, no artigo foram desenvolvidos e propostos três alternativas para esse processamento. Submetendo-se capturas de símbolos QR em três distintos padrões de luminosidade aos métodos desenvolvidos, observou-se a melhor eficácia de métodos que levavam em consideração características mais gerais sobre padrões mais claros, como os *Métodos LF* e *LV*, enquanto que para iluminações de irregularidade extrema ou escuras, métodos preconizando etapas otimização de contraste (*Métodos EH*) ou de binarização localizada (*Métodos S*) foram mais eficazes, pois proporcionaram, à binarização, um limiar mais adequado.

REFERÊNCIAS

- [1] DENSO WAVE Incorporated, “Basic Info”. Disponível em <http://www.denso-wave.com/en/adcd/fundamental/index.html>. Acesso em jun. 2019.
- [2] J. W. Wei, S. G. Dai, P. A. Mu, "QR code correction and positioning method based on morphology and Hough transform", *Computer and Information Technology*, Shanghai, China, 2010.
- [3] K. Suran, "QR Code Image Correction based on Corner Detection and Convex Hull Algorithm". *Journal of Multimedia*, Zhejiang, China, 2013.
- [4] W. B. Chen, G. B. Yang, L. Feng, "A low complexity image preprocessing method for QR code recognition", *Journal of Hunan University*, Hunan, China, 2012.
- [5] C. Jin, J. H. Yuan, L. L. Li, E. Y. Chen, G. Han, T. Tang, "One of the image correction algorithms of QR code and its implementation based on wavelet transform". *2012 IEEE 3rd International Conference on Software Engineering and Service Science*, Chongqing, China, 2012.
- [6] M. Li, P. Cao, L. Feng, L. Yu, J. Chen, J. Wang, "The research of QR code image correction based on image gray feature", *2017 First International Conference on Electronics Instrumentation & Information Systems (EIIS)*, Harbin, China, June 2017.
- [7] "QR Code Tutorial", 2015. Disponível em <https://www.thonky.com/qr-code-tutorial/>. Acesso em jul. 2019.
- [8] "Octave Forge". Disponível em <https://octave.sourceforge.io/>. Acesso em jul. 2019.
- [9] R. C. Gonzales, R. E. Woods, “Processamento Digital de Imagens”, 3. ed., São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2010.