

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

JONAS MENDONÇA TARGINO

**Análise comparativa de técnicas para detecção e reconstrução de oclusões  
parciais em imagens de face visando o reconhecimento biométrico**

São Paulo

2018

JONAS MENDONÇA TARGINO

**Análise comparativa de técnicas para detecção e reconstrução de oclusões  
parciais em imagens de face visando o reconhecimento biométrico**

Versão original

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação.

Área de concentração: Metodologia e Técnicas da Computação

Orientador: Prof. Dr. Clodoaldo Aparecido Moraes de Lima

Coorientador: Profa. Dra. Sarajane Marques Peres

São Paulo

2018

Ficha catalográfica

Dissertação de autoria de Jonas Mendonça Targino, sob o título “**Análise comparativa de técnicas para detecção e reconstrução de oclusões parciais em imagens de face visando o reconhecimento biométrico**”, apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação, na área de concentração Metodologia e Técnicas da Computação, aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr.** \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_  
Presidente

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr.** \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr.** \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr.** \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_

*Dedico este trabalho aos meus pais, Manoel e Josivânia, que me ensinaram que o empenho, persistência e honestidade nos levam aos mais diversos sonhos. Graças ao apoio, incentivo e paciência de minha família consigo perceber minha contribuição mediante este trabalho para com o meio científico.*

## Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida, por ter me capacitado a vencer mais esse desafio, por sempre colocar suas mãos e me cobrir com o seu santo manto me livrando de todo o mal e me dando refúgio em momentos de angústia. Sem Deus tudo que foi feito nesta dissertação ainda estaria por fazer.

Agradeço aos meus pais Manoel e Josivânia, por todo o apoio, incentivo e esforço que fizeram durante o desenvolvimento deste trabalho. Abdicando de inúmeras coisas para me verem onde estou hoje, pois mesmo distantes estavam torcendo pela minha vitória e me incentivando a seguir em frente, na busca de meus sonhos, por mais distantes que eles parecessem estar. Se hoje me torno uma nova pessoa é porque aprendi com meus erros, apostei em meus sonhos e em nenhum momento desisti dos mesmos.

Agradeço ao meu irmão, Vandilson e a minha tia Maria da Glória, por torcerem e rezarem pela minha vitória. Os quais se orgulham e compartilham de minhas aspirações, compartilhando comigo a satisfação de subir mais um degrau frente à ciência.

De modo especial agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Clodoaldo Aparecido de Moraes Lima, e a minha coorientadora, Profa. Dra. Sarajane Marques Peres pela orientação e apoio para o desenvolvimento deste trabalho de mestrado. Ambos sempre demonstraram disponibilidade para esclarecer eventuais dúvidas, fornecer sugestões e conselhos que foram essenciais para elaboração deste texto de dissertação. Com a ajuda dessa dupla consegui enxergar potenciais que nunca pensei que existiam dentro de mim.

A todos os amigos que conviveram comigo no Grupo de Inteligência Artificial (GrIA), pelo companheirismo, respeito mútuo e compartilharem inúmeras experiências e tarefas. De modo especial ao Diego Neves, Fernando Costa, Lígia Moreno, Renan Vinicius, Henrique Passos, Jozias Rolim e Jonnathann Finizola.

Agradeço também ao professor Luciano Digiampietri por dialogar comigo a respeito da vida acadêmica e por ser um exemplo de pessoa a ser seguido.

Também gostaria de agradecer ao meu amigo Josué Gomes, o qual mesmo de longe me proporciona risadas e ideias malucas que as vezes nunca saem do papel.

Por fim, e não menos importante, agradeço a CAPES pelo auxílio financeiro que permitiu com que fosse possível desenvolver este trabalho.

*"Julgue seu sucesso pelas coisas que você teve que renunciar para conseguir"*

*(Dalai Lama)*

## Resumo

Targino, Jonas Mendonça. **Análise comparativa de técnicas para detecção e reconstrução de oclusões parciais em imagens de face visando o reconhecimento biométrico**. 2018. 44 f. Qualificação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Há um crescente incentivo ao uso da tecnologia biométrica para melhorar, e até mesmo substituir os métodos tradicionais de segurança. O campo da Biometria refere-se a uma grande variedade de tecnologias usadas para identificar ou verificar a identidade de uma pessoa por meio da mensuração e análise de vários aspectos físicos e comportamentais do ser humano. Modalidades biométricas são características extraídas do corpo humano, que são únicas para cada indivíduo e que podem ser usadas para estabelecer sua identidade numa população. As principais modalidades biométricas empregadas são: impressão digital, face, voz, palma da mão, e íris. Dentre as modalidades biométricas, a face é a mais comumente vista e usada em nossa vida diária. Em aplicações de mundo real, sistemas de reconhecimento facial, frequentemente, têm que lidar com condições não controladas e não previsíveis tais como mudança na iluminação, pose, expressão e oclusão, as quais introduzem variações intraclasse e degradam performance de reconhecimento. Comparada com problemas de pose, iluminação e expressão, o problema relacionado à oclusão é relativamente pouco estudado na área. Há dois problemas distintos relacionados com o reconhecimento facial com oclusão: detecção da face ocluída e a reconstrução da face ocluída. O objetivo desta dissertação é investigar, avaliar e comparar técnicas para detecção e reconstrução de oclusões parciais em imagens de face, obtidas em ambientes não cooperativos. Também durante a realização desse estudo comparativo foram implementadas três novas técnicas (duas baseadas em modelo e uma baseada em subespaço) de reconstrução, as quais apresentaram consideráveis taxa de reconhecimento nas base de dados AR e Yale. Os resultados demonstram que duas das técnicas criadas nesse trabalho apresentaram consideráveis resultados de acurácia perante as técnicas dispostas na literatura.

Palavras-chaves: Detection occlusion. Occluded Face. Face reconstruction. Biometric Recognition.



## Abstract

Targino, Jonas Mendonça. **Comparative analysis of techniques for detecting and reconstructing partial occlusions in face images for biometric recognition.**

2018. 44 p. Qualification (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2018.

There is a growing incentive to use biometric technology to improve, even replace, traditional security methods. The field of Biometrics refers to a wide variety of technologies used to identify or verify a person's identity by measuring and analyzing various physiological and behavioral aspects of the human being. Biometric modes are characteristics drawn from the human body, which are unique to each individual and can be used to establish their identity in a population. The main biometric modalities used are: fingerprint, face, voice, palm, and iris. Among the biometric modalities, the face is the most commonly seen and used in our daily life. In real-world applications, facial recognition suffers from a number of problems in uncontrolled scenarios. These problems are mainly due to different facial variants that can greatly change the appearance of the face, including variations in expression, lighting, changes in the pose, as well as partial occlusions. Compared with problems of pose, illumination and expression, the problem related to occlusion is relatively little studied in the area. There are two distinct problems related to facial recognition with occlusions: face occlusion detection and reconstruction. The objective of this dissertation is to investigate and evaluate techniques for detection and reconstruction of partial occlusions in face images obtained in non-cooperative environments.

Keywords: Detection. Occlusion. Occluded. Face. Biometric. Recognition

## Lista de figuras

Figura 1 – Processo de seleção dos artigos . . . . .	26
Figura 2 – Bases de dados utilizadas pelos estudos selecionados . . . . .	28
Figura 3 – Matriz de confusão da técnica Asymmetrical PCA na base de dados AR	32
Figura 4 – Matriz de confusão da técnica Fast Recursive PCA na base de dados AR	33
Figura 5 – Matriz de confusão da técnica Fisherfaces na base de dados AR . . .	33
Figura 6 – Matriz de confusão da técnica Fast Robust PCA na base de dados AR	34
Figura 7 – Matriz de confusão da técnica Gappy PCA na base de dados AR . .	34
Figura 8 – Matriz de confusão da técnica PCA na base de dados AR . . . . .	35
Figura 9 – Matriz de confusão da técnica Recursive PCA na base de dados AR .	35
Figura 10 – Matriz de confusão da técnica SRC com Fast Recursive PCA na base de dados AR . . . . .	36
Figura 11 – Matriz de confusão da técnica SRC com grafo de Poisson na base de dados AR . . . . .	36
Figura 12 – Matriz de confusão da técnica SRC com grafo Laplaciano na base de dados AR . . . . .	37
Figura 13 – Matriz de confusão da técnica SSIMGL na base de dados AR . . . .	37
Figura 14 – Esquema do BMA . . . . .	43
Figura 15 – Detecção da parte ocluída com a técnica de detecção por blocos . . .	44

## Lista de Algoritmos

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Bases de dados de domínio público e algumas especificações . . . . .	29
---	----

## Lista de quadros

Quadro 1 – Estudos selecionados . . . . .	29
Quadro 2 – Técnicas para detecção de oclusão . . . . .	30
Quadro 3 – Técnicas para reconstrução de faces . . . . .	31

## Lista de abreviaturas e siglas

APCA	<i>Asymmetrical Principal Component Analysis</i>
ASM	<i>Active Shape Model</i>
BMA	<i>Block Matching Algorithm</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
CST	<i>Color Space Technique</i>
DCT	<i>Discrete Wavelet Transform</i>
DFFS	<i>Distance From face Space</i>
DICW	<i>Dynamic Image to Class Warping</i>
ERR	<i>Equal Error Rate</i>
EOH	<i>Exceptional Occlusion Handling</i>
FAR	<i>False Acceptance Rate</i>
FARO	<i>Face Recognition Against Occlusion</i>
FRPCA	<i>Fast Robust Principal Component Analysis</i>
FRR	<i>False Recognition Rate</i>
FWPCA	<i>Fast-Weighted Principal Component Analysis</i>
GMM	<i>Gaussian Mixture Models</i>
GPCA	<i>Gappy Principal Component Analysis</i>
HMM	<i>Hidden Markov Models</i>
IBD	<i>Inpainting for Big Data</i>
ICP	<i>Iterative Closest Point</i>
IFR	<i>Iterative Face Recovery</i>

IKFDA	<i>Incremental Kernel Fisher Discriminant Analysis</i>
KAM	<i>Kernel Associative Memory</i>
KNN	<i>K-Nearest Neighbors</i>
LBP	<i>Local binary patterns</i>
MCC	<i>Matthews correlation coefficient</i>
MLWNN	<i>Multi Library Wavelet Neural Network</i>
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
PIN	<i>Personal Identification Number</i>
PSNR	<i>Peak Signal-to-noise Ratio</i>
RGEF	<i>Reformed Gabor Eigenfaces</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
RPCA	<i>Robust Principal Component Analysis</i>
RS	Revisão Sistemática
SOM	<i>Self Organazing Maps</i>
SRC	<i>Sparse Representation Classification</i>
SRF	<i>System Recognition Faces</i>
SSD	<i>Sum of Square Distance</i>
SSEC	<i>Structured Sparse Error Coding</i>
SSIM	<i>Structural Similarity</i>
TLRC	<i>Trimmed Linear Regression Classification</i>
UOM	<i>Universal Occlusion Model</i>

## Lista de símbolos

$\Gamma$	Conjunto de imagens de face presentes no conjunto de treinamento das técnicas de reconstrução
$\Theta_i$	Vetor contendo a diferença entre a imagem de consulta e a imagem média
$\Phi$	Espaço de faces
$\Phi^{no}$	Espaço de faces da parte não ocluída
$\Phi^P$	Pseudo espaço de faces
$\Upsilon$	Imagem de consulta (imagem parcialmente ocluída)
$\beta$	Autovetores
$\beta^{no}$	Autovetores da parte não ocluída
$\partial$	Derivada parcial
$\mu$	Média das imagens de face presentes no conjunto de treinamento
$\mu_i$	Imagem média dos indivíduos da classe $i$
$\alpha^{no}$	Coefficientes de combinação linear da parte não ocluída
$\phi_i$	Eigenface $i$
$\kappa$	Coefficiente de multiplicação aplicado as matrizes Laplacianas



## Sumário

<b>Referências<sup>1</sup></b>	18
<b>Apêndice A – Protocolo de revisão sistemática sobre técnicas para detecção e reconstrução de oclusões parciais em imagens de face</b>	22
A.1 <i>Objetivo</i>	22
A.2 <i>Questões de pesquisa</i>	22
A.3 <i>Seleção de fontes</i>	22
A.4 <i>Palavras-Chave</i>	23
A.5 <i>Critérios de inclusão</i>	23
A.6 <i>Critérios de exclusão</i>	23
A.7 <i>Estratégia de seleção dos dados</i>	24
A.8 <i>Síntese dos dados extraídos</i>	24
A.9 <i>Ameaças a validade</i>	25
A.10 <i>Critérios de qualidade</i>	25
<b>Apêndice B – Condução da revisão</b>	26
<b>Apêndice C – Contextualização da literatura</b>	27
C.1 <i>Escopo dos estudos</i>	27
C.2 <i>Bases de dados</i>	27
C.3 <i>Técnicas encontradas na literatura</i>	29
C.3.1 <i>Técnicas para detecção de oclusões parciais</i>	30
C.3.2 <i>Técnicas para reconstrução de imagens de Faces</i>	30
C.4 <i>Considerações finais do apêndice</i>	31
<b>Apêndice D – Matrizes de confusão</b>	32
D.1 <i>Técnicas baseadas em subespaço</i>	32
D.2 <i>Técnicas baseadas em modelo</i>	36
<b>Apêndice E – Tabelas de resultados</b>	38

---

<sup>1</sup> De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

E.0.1	Skin Color . . . . .	41
E.0.2	Limiarização . . . . .	41
E.0.3	Algoritmo de correspondência dos blocos . . . . .	42

## Referências<sup>2</sup>

AISHA, A. et al. Face recognition invariant to partial occlusions. *KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, v. 8, n. 7, p. 2496–2511, 2014. Citado na página 29.

ALYUZ, N.; GOKBERK, B.; AKARUN, L. 3-d face recognition under occlusion using masked projection. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, IEEE, v. 8, n. 5, p. 789–802, 2013. Citado na página 29.

ALYUZ, N.; GOKBERK, B.; AKARUN, L. Detection of realistic facial occlusions for robust 3d face recognition. In: IEEE. *Pattern Recognition (ICPR), 2014 22nd International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 375–380. Citado na página 29.

ALYÜZ, N. et al. Robust 3d face recognition in the presence of realistic occlusions. In: IEEE. *Biometrics (ICB), 2012 5th IAPR International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 111–118. Citado na página 29.

BELLIL, W.; BRAHIM, H.; AMAR, C. B. Gappy wavelet neural network for 3d occluded faces: detection and recognition. *Multimedia Tools and Applications*, Springer, v. 75, n. 1, p. 365–380, 2016. Citado na página 29.

BINDU, A.; KUMAR, C. R. Inpainting for big data. In: IEEE. *Signal and Image Processing (ICSIP), 2014 Fifth International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 62–67. Citado na página 29.

CHIANG, C.-C.; CHEN, Z.-W. Recognizing partially-occluded faces by recovering normalized facial appearance. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, v. 7, n. 11, p. 6219–6234, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 40.

DENG, Y.; DAI, Q.; ZHANG, Z. Graph laplace for occluded face completion and recognition. *IEEE Transactions on Image Processing*, IEEE, v. 20, n. 8, p. 2329–2338, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 40.

DOU, P. et al. Pose-robust face signature for multi-view face recognition. In: IEEE. *Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS), 2015 IEEE 7th International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 1–8. Citado na página 29.

EUM, S.; SUHR, J. K.; KIM, J. Face recognizability evaluation for atm applications with exceptional occlusion handling. In: IEEE. *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on*. [S.l.], 2011. p. 82–89. Citado na página 29.

FIDLER, S.; SKOCAJ, D.; LEONARDIS, A. Combining reconstructive and discriminative subspace methods for robust classification and regression by subsampling. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 28, n. 3, p. 337–350, March 2006. ISSN 0162-8828. Citado na página 39.

HOSOI, T. et al. Restoring occluded regions using fw-pca for face recognition. In: IEEE. *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2012 IEEE Computer Society Conference on*. [S.l.], 2012. p. 23–30. Citado na página 29.

<sup>2</sup> De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

HUANG, S.-M.; YANG, J.-F. Subface hidden markov models coupled with a universal occlusion model for partially occluded face recognition. *IET biometrics*, IET, v. 1, n. 3, p. 149–159, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 40.

JIA, H.; MARTINEZ, A. M. Support vector machines in face recognition with occlusions. In: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 136–141. ISSN 1063-6919. Citado na página 39.

KIM, J. et al. Effective representation using ica for face recognition robust to local distortion and partial occlusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 27, n. 12, p. 1977–1981, Dec 2005. ISSN 0162-8828. Citado na página 39.

LAI, J.; JIANG, X. Robust face recognition using trimmed linear regression. In: *ICASSP*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 2979–2983. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 38.

LI, X.-X. et al. Structured sparse error coding for face recognition with occlusion. *IEEE transactions on image processing*, IEEE, v. 22, n. 5, p. 1889–1900, 2013. Citado na página 29.

MARSICO, M. D.; NAPPI, M.; RICCIO, D. Faro: Face recognition against occlusions and expression variations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, IEEE, v. 40, n. 1, p. 121–132, 2010. Citado na página 29.

MARTINEZ, A. M. The ar face database. *CVC technical report*, v. 24, 1998. Citado na página 44.

MARTINEZ, A. M. Recognizing imprecisely localized, partially occluded, and expression variant faces from a single sample per class. *IEEE Trans. on Pat. Analysis and Machine Intelligence*, v. 24, n. 6, p. 748–763, Jun 2002. ISSN 0162-8828. Citado na página 39.

MIN, R.; DUGELAY, J.-L. Inpainting of sparse occlusion in face recognition. In: *IEEE. Image Processing (ICIP), 2012 19th IEEE International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 1425–1428. Citado na página 29.

PASSALIS, G. et al. Using facial symmetry to handle pose variations in real-world 3d face recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE, v. 33, n. 10, p. 1938–1951, 2011. Citado na página 29.

PENEV, P. S.; ATICK, J. J. Local feature analysis: a general statistical theory for object representation. *Network: Comp. in Neural Sys.*, p. 477–500, 1996. Citado na página 38.

RAMA, A. et al. More robust face recognition by considering occlusion information. In: *8th IEEE Int. Conf. on Automatic Face Gesture Recognition*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–6. Citado na página 40.

SHARMA, M.; PRAKASH, S.; GUPTA, P. An efficient partial occluded face recognition system. *Neurocomputing*, Elsevier, v. 116, p. 231–241, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 38.

SHERMINA, J.; VASUDEVAN, V. Recognition of the face images with occlusion and expression. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, World Scientific, v. 26, n. 03, p. 1256006, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 29, 40 e 42.

SONG, M. et al. Three-dimensional face reconstruction from a single image by a coupled rbf network. *IEEE Transactions on Image Processing*, IEEE, v. 21, n. 5, p. 2887–2897, 2012. Citado na página 29.

STORER, M.; URSCHLER, M.; BISCHOF, H. Occlusion detection for icao compliant facial photographs. In: IEEE. *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2010 IEEE Computer Society Conference on*. [S.l.], 2010. p. 122–129. Citado na página 29.

SU, Y.; AI, H.; LAO, S. Multi-view face alignment using 3d shape model for view estimation. In: SPRINGER. *International Conference on Biometrics*. [S.l.], 2009. p. 179–188. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 40.

TAN, X. et al. Recognizing partially occluded, expression variant faces from single training image per person with som and soft k-nn ensemble. *IEEE Transactions on Neural Networks*, IEEE, v. 16, n. 4, p. 875–886, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 40.

TAN, X. et al. Recognizing partially occluded, expression variant faces from single training image per person with som and soft k-nn ensemble. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v. 16, n. 4, p. 875–886, July 2005. ISSN 1045-9227. Citado na página 39.

TARGINO, J. M.; PERES, S. M.; LIMA, C. A. M. Methods of detecting and reconstructing partial occlusions in face images: Systematic literature review. In: *Workshop de Visão Computacional*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 76–81. Citado na página 27.

WEI, X.; LI, C.-T.; HU, Y. Robust face recognition with occlusions in both reference and query images. In: IEEE. *Biometrics and Forensics (IWBF), 2013 International Workshop on*. [S.l.], 2013. p. 1–4. Citado na página 29.

WEI, X. et al. Dynamic image-to-class warping for occluded face recognition. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, IEEE, v. 9, n. 12, p. 2035–2050, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 38.

WRIGHT, J. et al. Robust face recognition via sparse representation. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, IEEE, v. 31, n. 2, p. 210–227, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 40.

WRIGHT, J. et al. Robust face recognition via sparse representation. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 31, n. 2, p. 210–227, Feb 2009. ISSN 0162-8828. Citado na página 39.

YAN, S. et al. Misalignment-robust face recognition. *IEEE trans. on image processing*, IEEE, v. 19, n. 4, p. 1087–1096, 2010. Citado na página 29.

YANG, M. et al. Fast and robust face recognition via coding residual map learning based adaptive masking. *Pattern Recognition*, Elsevier, v. 47, n. 2, p. 535–543, 2014. Citado na página 29.

YANG, M. et al. Robust sparse coding for face recognition. In: *CVPR 2011*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 625–632. ISSN 1063-6919. Citado na página 39.

ZHANG, B.; CERONE, P.; GAO, Y. Robust face recognition by hierarchical kernel associative memory models based on spatial domain gabor transforms. *Journal of Multimedia*, v. 1, n. 4, p. 1–10, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 40.

ZHANG, B. et al. Histogram of gabor phase patterns (hgpp): A novel object representation approach for face recognition. *IEEE Trans. on Image Processing*, v. 16, n. 1, p. 57–68, Jan 2007. ISSN 1057-7149. Citado na página 40.

ZHANG, Y. et al. Face occlusion detection using cascaded convolutional neural network. In: SPRINGER. *Chinese Conference on Biometric Recognition*. [S.l.], 2016. p. 720–727. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 38.

ZHU, J. et al. Discriminant analysis with gabor phase for robust face recognition. In: IEEE. *Biometrics (ICB), 2012 5th IAPR International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 13–18. Citado na página 29.

## Apêndice A – Protocolo de revisão sistemática sobre técnicas para detecção e reconstrução de oclusões parciais em imagens de face

### A.1 *Objetivo*

O objetivo principal dessa revisão sistemática foi realizar um levantamento sistemático do estado de arte, referente a técnicas de detecção e reconstrução de oclusões parciais em imagens de faces humanas visando o reconhecimento biométrico. Mediante esse estudo, foi possível extrair dados para o tema desta dissertação, a fim de conseguir informações pertinentes, como por exemplo: quais algoritmos estão sendo aplicados para detectar oclusões parciais, e reconstruir faces parcialmente ocluídas, quais as métricas de avaliação que são normalmente utilizadas, quais estratégias estão apresentando melhor resultado, quais as condições do ambiente, e quais bases de dados utilizadas.

### A.2 *Questões de pesquisa*

Em adição aos objetivos da revisão sistemática elaborada, as questões de pesquisa auxiliam na busca por informações relevantes por meio da leitura integral dos estudos. Tais informações são obtidas após a extração e síntese dos dados extraídos da leitura. As questões de pesquisa levantadas foram:

1. quais técnicas estão sendo utilizadas para reconstrução de faces humanas e como são aplicadas?
2. quais as técnicas utilizadas para detecção de oclusões parciais e como são aplicadas?
3. como os resultados são analisados e comparados?
4. qual tipo de reconhecimento biométrico foi utilizado?
5. Quais bases de dados estão sendo utilizadas?

### A.3 *Seleção de fontes*

Para selecionar os estudos primários para essa revisão sistemática, foram utilizadas as três bases indexadoras a seguir:

Os trabalhos devem estar preferencialmente disponíveis na internet, em bases de dados científicas. As seguintes bases foram selecionadas para realização das buscas:

1. Biblioteca Digital do Scopus (<https://www.scopus.com/>)
2. Biblioteca Digital do IEEE (<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>)
3. Biblioteca Digital do Web of Science (<https://apps.webofknowledge.com>)

A justificativa para a escolha dessas três bases se refere à abrangência, quase total, dos artigos presentes nas bibliotecas digitais com idioma na língua inglesa. Para encontrar tais artigos nas bases indexadoras, foi elaborado uma string de busca para cada uma das bases com os termos descritos mais detalhadamente na seção A.4. O apêndice ??, apresenta com maiores o processo de seleção de artigos.

#### A.4 *Palavras-Chave*

A *String de busca* envolveu as palavras-chave descritas abaixo:

1. 'occlusion' OR 'occluded';
2. 'detect\*' OR 'recogni\*' OR 'analys\*' OR 'reconstruct\*';
3. 'face' OR 'faces' OR 'facial' ;
4. 'biometry\*'.

Os artigos retornados pela aplicação da *String* de busca nos motores de busca, foram lidos seus respectivos títulos e resumos.

#### A.5 *Critérios de inclusão*

Para essa revisão sistemática, três critérios de inclusão foram definidos, sendo eles:

I1 - Artigos que abordem métodos e técnicas utilizadas para detecção de oclusão parciais em faces humanas.

I2 - Artigos que abordem técnicas utilizadas para reconstrução de faces humanas.

I3 - Artigos que abordem modelagens híbridas para detecção de oclusões parciais e/ou reconstrução facial.

#### A.6 *Critérios de exclusão*

E1 - Artigos de revisão serão excluídos.



E2 - Trabalhos que estejam na forma de livros, capítulos de livros, prefácio de eventos, pôster e artigos resumidos.

E3 - Trabalhos que não estejam na língua Inglesa.

E4 - Trabalhos que não sejam revisados por pares.

#### *A.7 Estratégia de seleção dos dados*

Foi construída uma *String* com palavras-chave e seus sinônimos, onde essa *String* foi submetida nas máquinas de busca. Após a leitura dos resumos e títulos e sua posterior aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, com isso os artigos foram selecionados conforme sua adequação juntos aos critérios de inclusão, apresentando relevância daquele artigo perante a pesquisa.

#### *A.8 Síntese dos dados extraídos*

Após a leitura na íntegra de cada artigo incluído, foi elaborado um formulário de extração dos dados, a fim de serem sintetizados e gerar informações pertinentes, os dados coletados foram:

1. autores;
2. objetivo do trabalho;
3. estratégia para detecção de oclusão parcial;
4. estratégia para reconstrução de face;
5. base de dados utilizada;
6. forma de avaliação;
7. métricas utilizadas;
8. identificação das vantagens e desvantagens de cada método;
9. resultados obtidos;
10. limitações do trabalho;
11. trabalhos futuros.

### A.9 Ameaças a validade

Os resultados da pesquisa podem revelar que as técnicas ou fusões de técnicas apresentadas para detecção de oclusão ou reconstrução de faces não produzem um bom resultado ou não são aplicáveis a tal ambiente de coleta, assim refutando a hipótese de pesquisa. Outra possível ameaça que este projeto pode apresentar é a existência de outras técnicas com fins a identificar a parte ocluída em uma imagem facial e/ou reconstruir a face sem finalidades biométricas.

### A.10 Critérios de qualidade

Após a seleção dos estudos e a leitura integral de cada um deles, existe a necessidade de realizar uma avaliação subjetiva direcionada ao objetivo da revisão sistemática. Desse modo, alguns critérios de qualidade foram desenvolvidos para tal fim, sendo eles:

- Q1 - Os objetivos da pesquisa são claramente definidos?
- Q2 - O contexto é adequadamente descrito?
- Q3 - Foram apresentadas técnicas de detecção de oclusões claramente?
- Q4 - Foram apresentadas técnicas de reconstrução facial?
- Q5 - O código de detecção de oclusões foi disponibilizado?
- Q6 - O código de detecção de reconstrução facial foi disponibilizado?
- Q7 - O ambiente do estudo primário foi apresentado claramente?
- Q8 - A proposta do estudo foi validada?
- Q9 - A proposta é comparada com outro método?
- Q10 - Foi apresentado o Dataset utilizado?
- Q11 - O experimento é aplicado em conjuntos de dados suficientes?
- Q12 - Os resultados foram apresentados claramente?

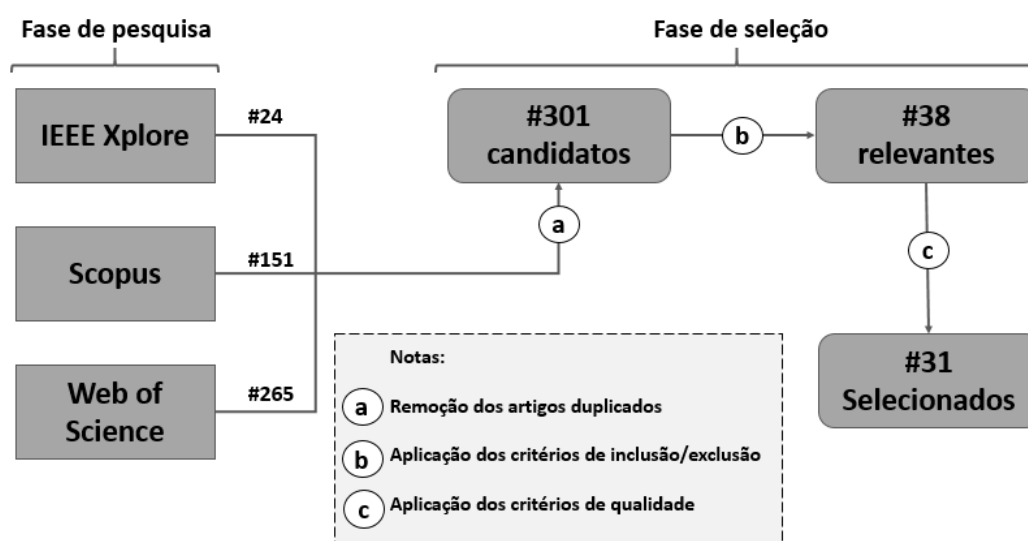
Para cada critério de qualidade necessariamente era atribuído uma nota, sendo Sim (S) = 1 ponto, Não (N) = 0 ponto, e Parcialmente (P) = 0,5.

## Apêndice B – Condução da revisão

Após o planejamento da revisão sistemática e definição do protocolo, a condução dos passos consistiram das seguintes etapas: submissão das *strings* nas máquinas de busca do Scopus, IEEE e Web of Science; aplicação dos artigos retornados nas máquinas de busca e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão; e extração dos dados dos artigos incluídos e lidos integralmente.

O processo de busca dos artigos foi realizado no período compreendido entre 25 de janeiro e 06 de fevereiro de 2017. A partir dessas buscas 440 artigos foram retornados, de modo que após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão 38 artigos foram selecionados para leitura e análise completa, sendo que após a leitura completa do trabalho foram selecionados 31 artigos com relevante grau de contribuição para a pesquisa. A figura 1 apresenta um esquema do processo de seleção dos artigos.

Figura 1 – Processo de seleção dos artigos



Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

## Apêndice C – Contextualização da literatura

Este capítulo possui como objetivo principal apresentar um apanhado geral das técnicas para detecção e reconstrução de oclusões parciais em imagens de face visando o reconhecimento biométrico. Essas técnicas foram obtidas graças ao trabalho de Targino, Peres e Lima (2018) o qual apresentou uma revisão sistemática das técnicas presentes na literatura.

### *C.1 Escopo dos estudos*

Dentro do conjunto de estudos selecionados e analisados, existem autores que abordam a técnica de detecção de oclusão e paralelamente realizam a reconstrução da face, entretanto em outros trabalhos são implementados apenas uma das duas técnicas. Diante dos trabalhos lidos foi possível perceber que a maioria deles não apresentaram o algoritmo de construção da técnica de forma detalhada. Sendo possível a implementação da técnica mediante a leitura de outros trabalhos com abordagens semelhantes e mais específicas, abrangendo com isso uma maior quantidade de detalhes. É notável perceber que a maioria dos trabalhos abordaram adaptações de técnicas já existentes para detecção e reconstrução de oclusões parciais.

### *C.2 Bases de dados*

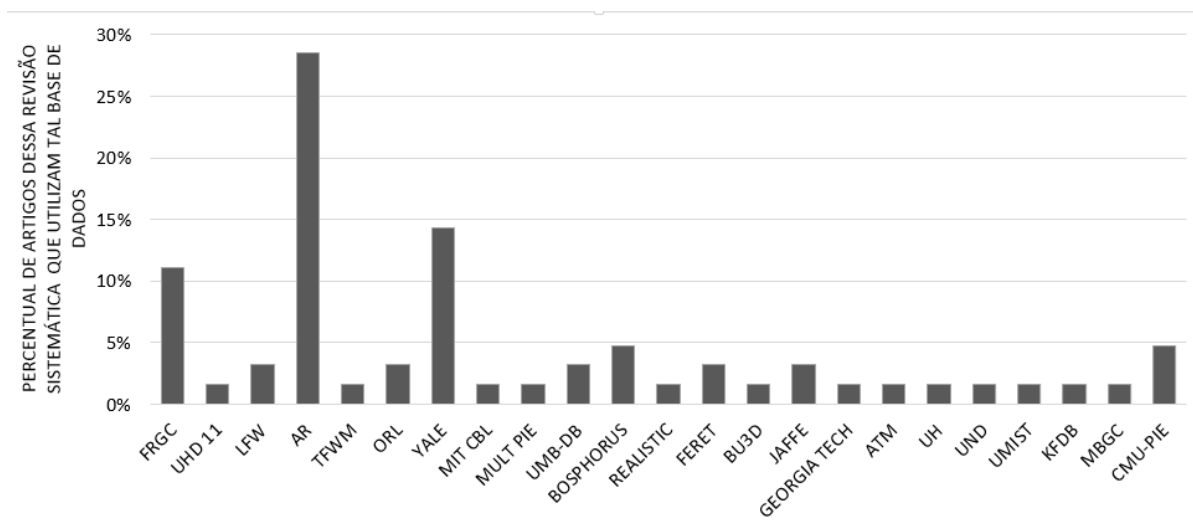
Três bases de dados foram amplamente utilizadas nos trabalhos analisados e esta seção as descreve resumidamente. Em alguns artigos mais de uma base foram utilizadas de modo a possibilitar o uso de uma ou mais bases para o conjunto de treinamento e outra de modo a prover instâncias para o conjunto de teste. Todas as bases de dados utilizadas nos trabalhos abordados na revisão sistemática estão representadas na figura 2, dentre essas apresentadas, aqui será dado maior ênfase nas três bases de dados mais utilizadas, sendo elas:

- **AR** esta base de dados foi utilizada em nove dos trabalhos analisados (29%). Ela possui um pouco mais de 2.600 imagens de face frontal de 100 indivíduos (50 homens e 50 mulheres). De modo que para cada indivíduo são coletadas 26 fotos, estas

coletadas sobre duas sessões (dois dias diferentes) separadas e sujeitas a 13 variações de condições, dentre estas estão, diferentes expressões faciais, condições de iluminação e variações de oclusão (com óculos de sol e cachecol). A base de dados encontra-se disponível em <http://www2.ece.ohio-state.edu/~aleix/ARdatabase.html>;

- **YALE B** esta base de dados contém 165 imagens frontais de 10 pessoas, contendo variações de iluminação, expressão e oclusão (baixos níveis de oclusão). A base de dados foi utilizada em quatro dos trabalhos selecionados (14%), e ela encontra-se disponível em <http://www.face-rec.org/databases/>;
- **FRGC** foi a terceira base de dados mais utilizada, três dos trabalhos analisados (11%) a utilizaram. Esta base de dados contém 12776 imagens frontais de 222 indivíduos, com 6388 imagens coletadas em ambientes controlados e outras 6388 imagens coletadas na presença de ambientes não controlados. Esta base de dados está disponível em <https://www.nist.gov/programs-projects/face-recognition-grand-challenge-frgc>.

Figura 2 – Bases de dados utilizadas pelos estudos selecionados



Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Pode-se perceber uma quantidade significativa de bases de dados de face dispostas na literatura, entretanto nem todas as bases disponíveis apresentam uma grande quantidade de imagens bem como também uma grande quantidade de variações existentes. Na tabela 1 são apresentadas algumas das bases mais utilizadas como também número de indivíduos da base, quantidade de imagens, e variações presentes na base. As variações estão apresentadas da forma: **(i)** representa iluminação; **e** significa expressão; **(o)** representa oclusão; e **t** significa variação temporal (ou seja, imagens obtidas da mesma pessoa em diferentes dias).

Tabela 1 – Bases de dados de domínio público e algumas especificações

Bases	Número de indivíduos	Número de imagens	Variações existentes
AR	100	2600	i, e, o, t
Yale B	15	165	i, e
FRGC	222	12776	i, e
ORL	40	400	p, e
MIT	16	432	i, p
CMU PIE	68	41.368	p, i, e
FERET	> 1000	> 10000	p, i, e, t
UMIST	20	564	p

Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

### C.3 Técnicas encontradas na literatura

Após a extração dos dados foi possível analisar as técnicas presentes na literatura para detecção e reconstrução de oclusões parciais com fins biométricos, estas técnicas estão sendo apresentadas com mais detalhes nas subseções C.3.1 e C.3.2 logo abaixo.

De modo a gerar uma melhor visualização dos trabalhos selecionados e uma identificação para cada um deles foi elaborada o quadro 1, este apresentando a identificação do trabalho, como também o evento em que o mesmo foi publicado.

Quadro 1 – Estudos selecionados

ID	Autores	Evento
A1	(BELLIL; BRAHIM; AMAR, 2016)	Multimed Tools Applications
A2	(ZHANG et al., 2016)	Chinese Conference on Biometric Recognition
A3	(DOU et al., 2015)	Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS)
A4	(WEI et al., 2014)	IEEE Transactions on Information Forensics and Security
A5	(AISHA et al., 2014)	KSII Transactions on Internet and Information Systems (THIS)
A6	(YANG et al., 2014)	Pattern Recognition
A7	(ALYUZ; GOKBERK; AKARUN, 2014)	International Conference Pattern Recognition (ICPR)
A8	(BINDU; KUMAR, 2014)	Signal and Image Processing (ICSIP)
A9	(LAI; JIANG, 2013)	International Conference Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)
A10	(SHARMA; PRAKASH; GUPTA, 2013)	Neurocomputing
A11	(WEI; LI; HU, 2013)	International Workshop Biometrics and Forensics (IWBF)
A12	(ALYUZ; GOKBERK; AKARUN, 2013)	IEEE Transactions on Information Forensics and Security
A13	(LI et al., 2013)	IEEE transactions on image processing
A14	(MIN; DUGELAY, 2012)	International Conference Image Processing (ICIP)
A15	(ALYÜZ et al., 2012)	International Conference Biometrics (ICB)
A16	(ZHU et al., 2012)	International Conference Biometrics (ICB)
A17	(SONG et al., 2012)	IEEE Transactions on Image Processing
A18	(SHERMINA; VASUDEVAN, 2012)	International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence
A19	(CHIANG; CHEN, 2011)	International Journal of Innovative Computing, Information and Control
A20	(EUM; SUHR; KIM, 2011)	Computer Vision and Pattern Recognition Workshops
A21	(PASSALIS et al., 2011)	IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence
A22	(DENG; DAI; ZHANG, 2011)	IEEE Transactions on Image Processing
A23	(STORER; URSCHLER; BISCHOF, 2010)	Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)
A24	(YAN et al., 2010)	IEEE transactions on image processing
A25	(MARSICO; NAPPI; RICCIO, 2010)	IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans
A26	(SU; AI; LAO, 2009)	International Conference on Biometrics
A27	(WRIGHT et al., 2009a)	IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence
A28	(ZHANG; CERONE; GAO, 2006)	Journal of Multimedia
A29	(HUANG; YANG, 2012)	IET biometrics
A30	(HOSOI et al., 2012)	Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)
A31	(TAN et al., 2005a)	IEEE Transactions on Neural Networks

Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

### C.3.1 Técnicas para detecção de oclusões parciais

Algumas técnicas para detecção de oclusões parciais em imagens de face, coletadas a partir da revisão sistemática estão destacadas no quadro 2. Após a análise deste quadro podemos enxergar um número considerável de técnicas com tal finalidade.

Quadro 2 – Técnicas para detecção de oclusão

ID do Artigo	Nome da Técnica
A1	Transformada Wavelet Discreta(DCT)
A2	Rede Neural Convolucional(CNN)
A4,A11	Imagens Dinâmicas para Classes Deformadas(DICW)
A5	Kernel Incremental de Análise Discriminante de Fisher (IKFDA)
A6,A25,A32	Classificação por Representação Esparsa (SRC)
A14	Máscara de Projeção FisherFace
A7	Mistura de Modelos Gaussianos (GMM)
A9	Classificação de regressão linear aparada (TLRC)
A10	Filtros de Gabor
A13	Estrutura Esparsa de Codificação do Erro(SSEC)
A14	Robusta Análise dos Componentes Principais (RPCA)
A15	ICP junto ao modelo genérico facial
A16	Fases de Gabor com SLRDA
A18	Bloco de Algoritmo de correspondência (BMA)
A19	Descoberta Iterativa de Faces(IFR)
A20	Manipulação de Oclusões Excepcionais(EOH)
A23	Técnica do Espaço de Cores (CST)
A24	Desalinhamento Robusto (MAR)
A25	Reconhecimento Facial contra Oclusão(FARO)
A26	Multi Visões de Alinhamento de Faces
A28	Memória de Kernel Associativo(KAM)
A29	Modelos Ocultos Markovianos (HMM)
A31	Mapa de Auto Organização(SOM)

Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

### C.3.2 Técnicas para reconstrução de imagens de Faces

Após a fase de detecção da oclusão na imagem da face, torna-se imprescindível a reconstrução da oclusão, de modo a possibilitar a identificação biométrica. A partir da leitura dos artigos foi possível extrair algumas técnicas para reconstrução de faces. As técnicas encontradas são apresentadas no quadro 3. Analisando este quadro pode-se

perceber um pequeno número de técnicas com tal finalidade quando comparado com as técnicas para detecção de oclusão.

Quadro 3 – Técnicas para reconstrução de faces

ID do Artigo	Nome da Técnica
A1	Rede Neural de Onda de Multi-Biblioteca (MLWNN)
A4,A27	SRC
A7	Inpainting for big data (IBD)
A9	TLRC
A10	Eigenfaces com Eigenfaces reformados de Gabor(RGEF)
A12,A15	Gappy Análise dos Componentes Principais (GPCA)
A16	Fases de Gabor com RSLDA
A18,A19,A24	Eigenfaces
A22	Grafos Laplacianos
A23	CST + Modelos de Formas Ativas (ASM) e PCA
A28	KAM
A30	Pesos Rápidos de Análises de Componentes Principais (FWPCA)

Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

#### C.4 Considerações finais do apêndice

Considerando a importância das técnicas de detecção e reconstrução de oclusões parciais em imagens de face visando o reconhecimento biométrico. Neste apêndice foi apresentada uma revisão sistemática de literatura a respeito das técnicas presentes no estado da arte com fins de detecção e/ou reconstrução de oclusões parciais em imagens de face.

Com a análise dos artigos incluídos percebeu-se que existe uma quantidade considerável de técnicas presentes na literatura, entretanto essas técnicas apresentam configurações de execuções limitadas, não seguindo um rigor sistemático de bases de dados utilizadas, como também disponibilidade de códigos ou pseudo-códigos para futuras replicações por outras pessoas interessadas na área.

Foi possível concluir com essa revisão sistemática, que a área apresenta uma certa instabilidade em relação a padrões de execuções, tipos de oclusões, sem contar que alguns autores não utilizam um estudo comparativo mais aprofundado com outras técnicas presentes no estado da arte. Como também grande parte dos artigos não apresentam fins que possibilitem replicação do trabalho pela comunidade científica.

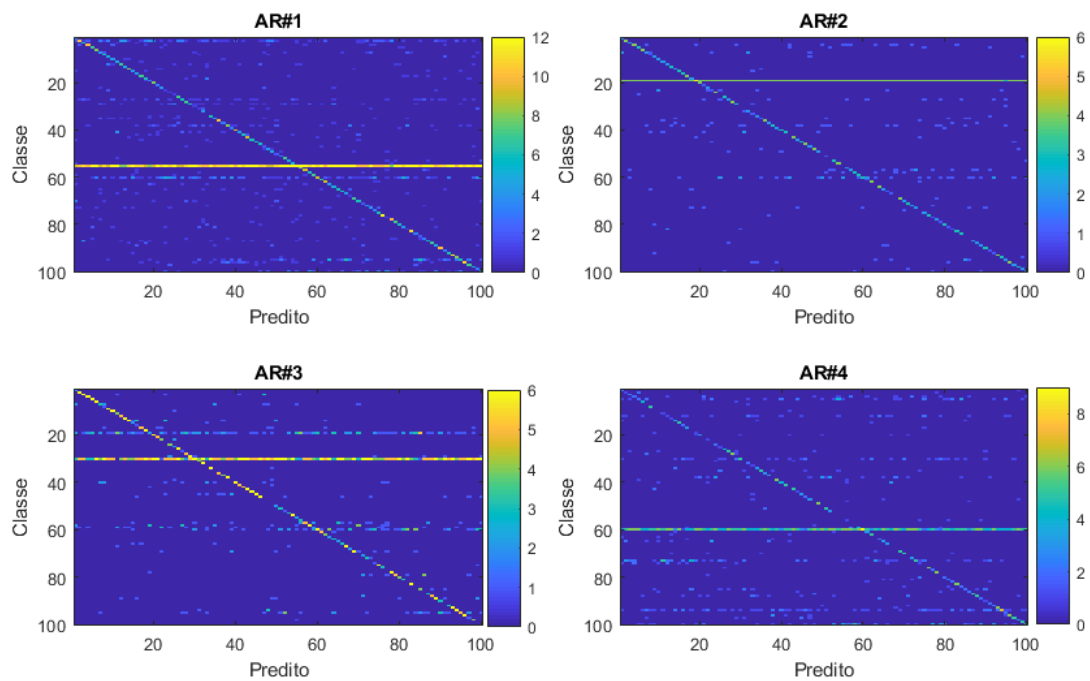


## Apêndice D – Matrizes de confusão

Abaixo são apresentadas as matrizes de confusão de cada técnica, de modo que após a análise da diagonal é possível perceber qual classe teve um maior índice de acertos, como também seus falsos positivos e falsos negativos.

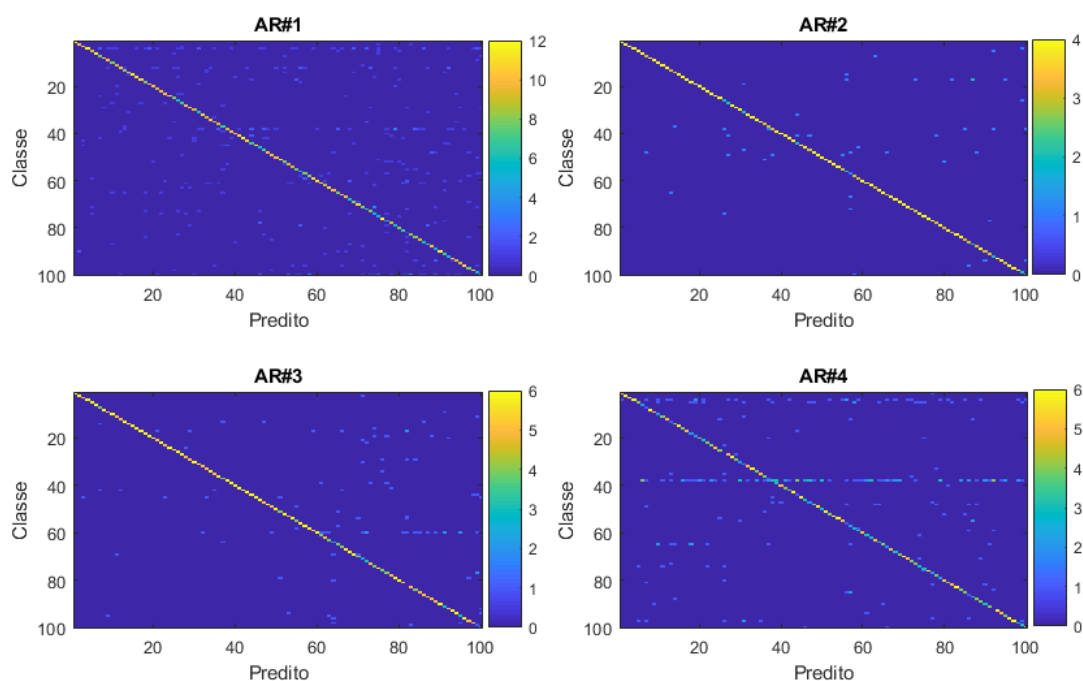
### D.1 Técnicas baseadas em subespaço

Figura 3 – Matriz de confusão da técnica Asymmetrical PCA na base de dados AR



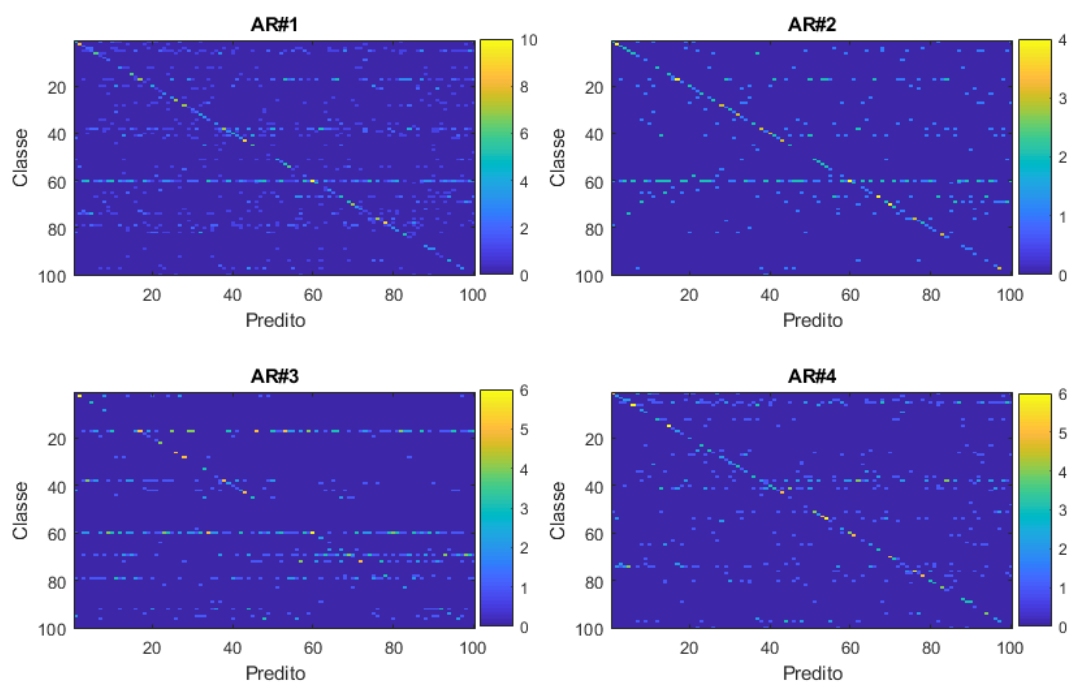
Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Figura 4 – Matriz de confusão da técnica Fast Recursive PCA na base de dados AR



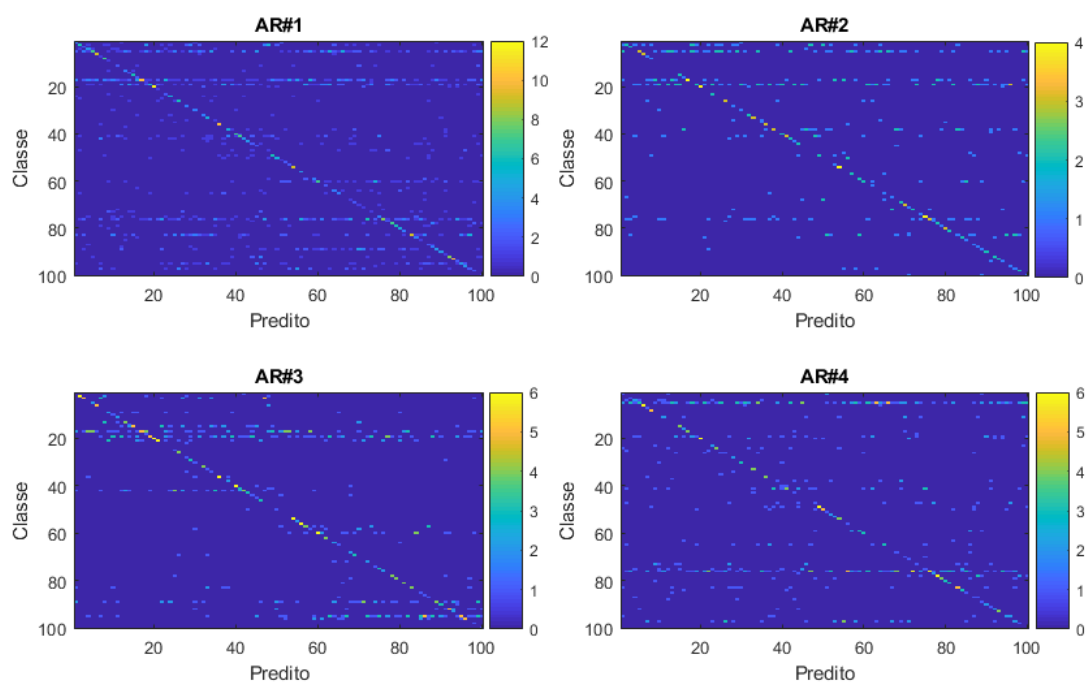
Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Figura 5 – Matriz de confusão da técnica Fisherfaces na base de dados AR



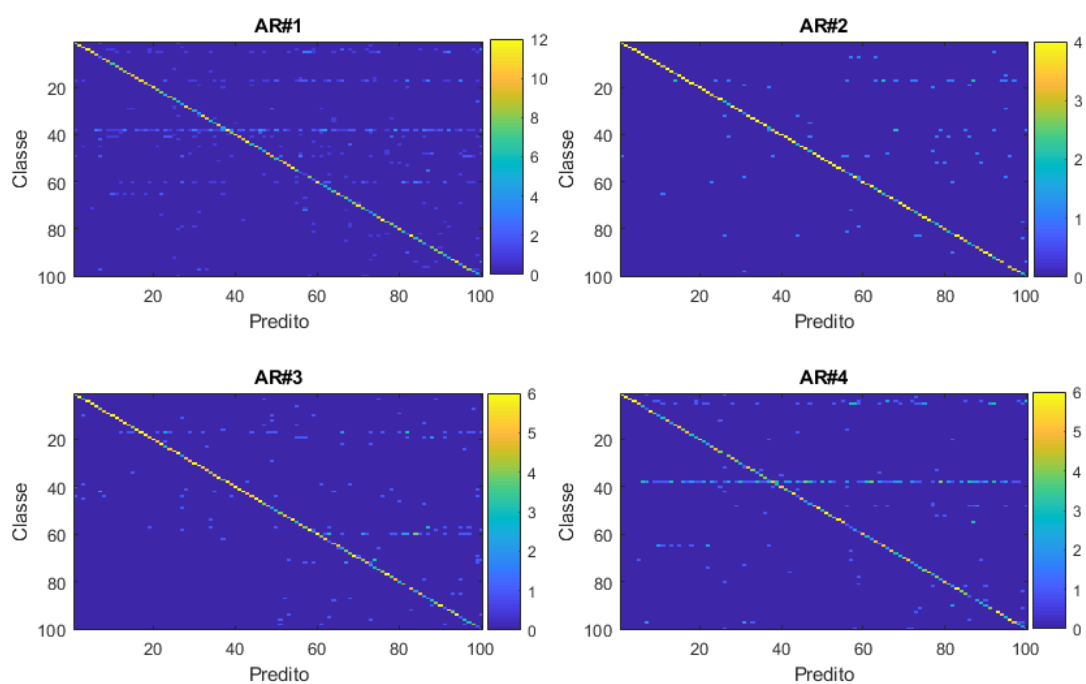
Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Figura 6 – Matriz de confusão da técnica Fast Robust PCA na base de dados AR



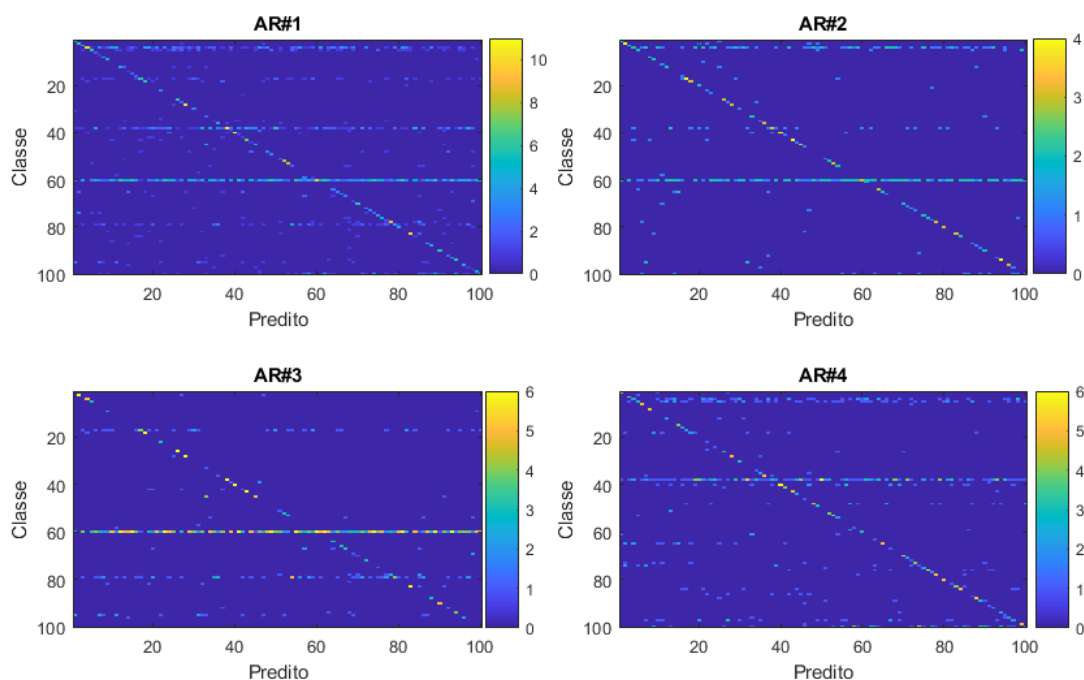
Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Figura 7 – Matriz de confusão da técnica Gappy PCA na base de dados AR



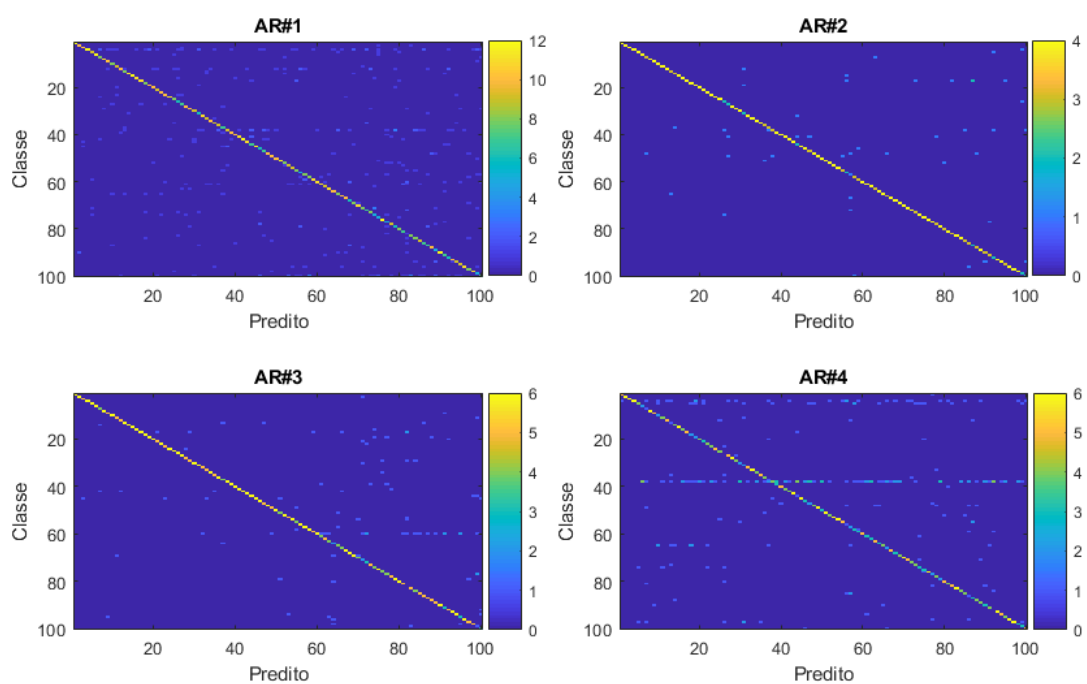
Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Figura 8 – Matriz de confusão da técnica PCA na base de dados AR



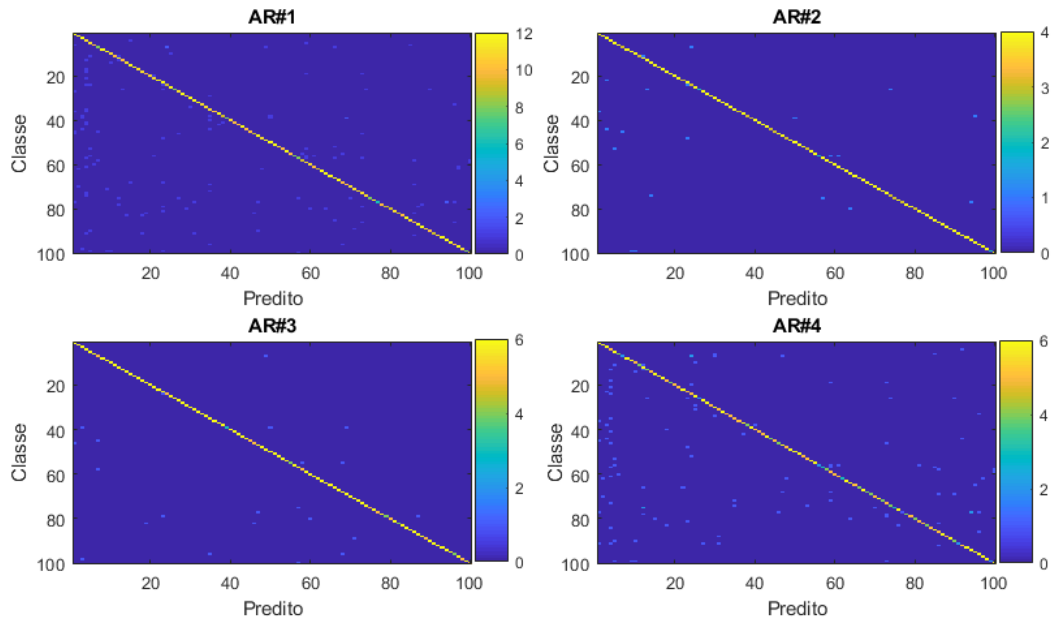
Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Figura 9 – Matriz de confusão da técnica Recursive PCA na base de dados AR



Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

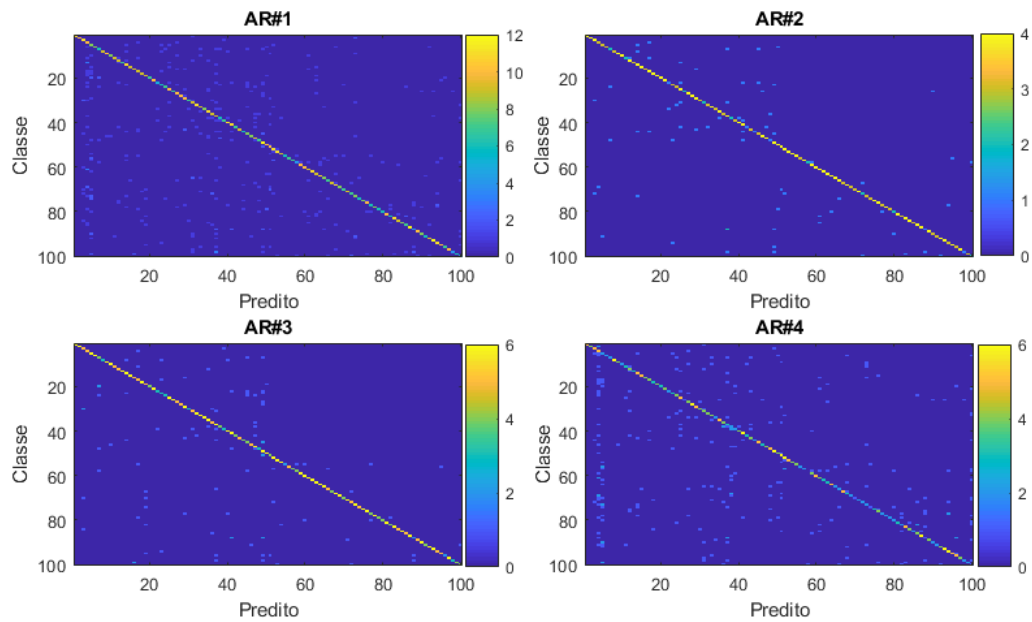
Figura 10 – Matriz de confusão da técnica SRC com Fast Recursive PCA na base de dados AR



Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

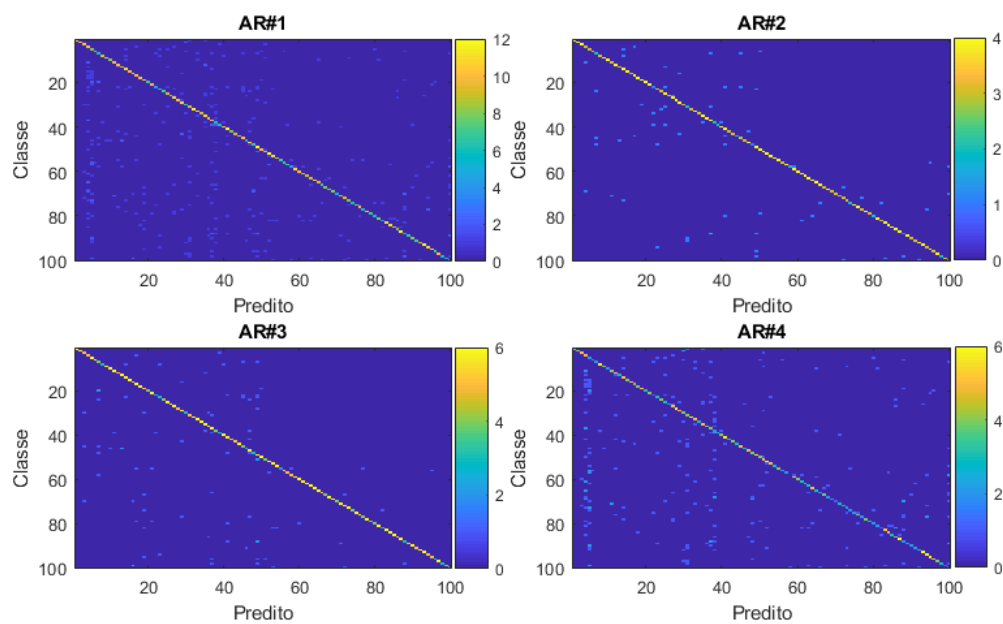
## D.2 Técnicas baseadas em modelo

Figura 11 – Matriz de confusão da técnica SRC com grafo de Poisson na base de dados AR



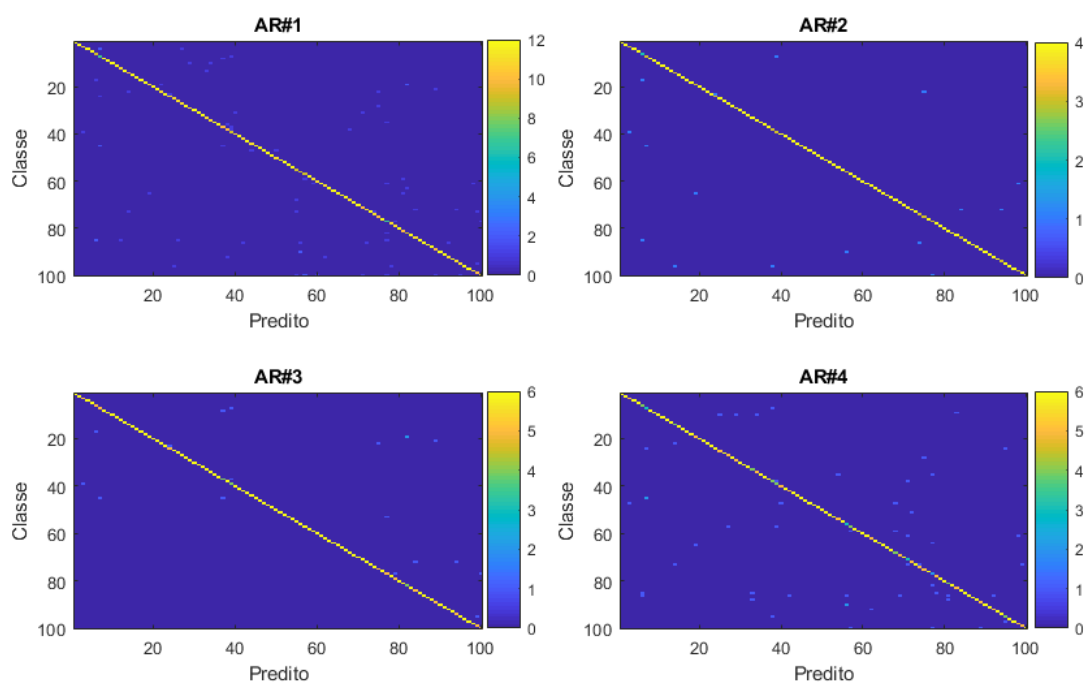
Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Figura 12 – Matriz de confusão da técnica SRC com grafo Laplaciano na base de dados AR



Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Figura 13 – Matriz de confusão da técnica SSIMGL na base de dados AR



Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

## Apêndice E – Tabelas de resultados

Esta seção apresenta algumas técnicas para detecção de oclusões parciais em imagens de faces, essas técnicas foram coletadas por meio de uma revisão sistemática e uma revisão bibliográfica.

Durante a elaboração deste trabalho analisou-se uma grande quantidade de trabalhos relacionados, a depender de sua temática junto a identificação biométrica da face. Com iniciativas a lapidar as técnicas analisou-se alguns trabalhos relacionados com iniciativas a implementação das técnicas para comparações futuras. Dentre os trabalhos podemos perceber que o artigo de Lai e Jiang (2013) apresenta uma técnica para detecção da oclusão utilizando um estimador robusto com regressão linear, em que o mesmo analisa os pixels correspondentes no conjunto de treinamento e os classifica como não ocluídos, diante disso a imagem analisada é classificada de acordo a classe com menor erro de reconstrução. Já Zhang et al. (2016) utiliza sete Redes Neurais Convolutivas (do inglês: *Convolutional Neural Network* (CNN)) para detecção da oclusão, dessas setes redes, três, duas e duas, são responsáveis por detectar respectivamente a cabeça, olhos e boca. Utilizando a estratégia de *Max-pooling* como processo de discretização e redução do número de parâmetros para entrada na rede. O primeiro nível da CNN é responsável por rejeitar rapidamente a maioria das janelas de detecção, já o segundo nível julga se as janelas restantes são pontos faciais ou não.

Em Wei et al. (2014) apresenta a estratégia DICW, esta divide a imagem da face em  $D$  partes e logo em seguida analisa a diferença das tonalidades entre as partes a partir da manipulação de séries temporais, e logo em seguida aplica distância euclidiana ou distância cosseno para analisar a presença de possíveis oclusões nas partes da imagem. Sharma, Prakash e Gupta (2013) utiliza filtros de Gabor para extrair as características da imagem e com o auxílio do PCA reduz a dimensionalidade das mesmas e projeta essas imagens em um subespaço. Para tarefa de detecção da oclusão divide a imagem da face em subimagens e aplica um limiar de decisão para detecção da máscara de oclusão.

A metodologia clássica para tratar o reconhecimento biométrico baseado em imagens de faces ocluídas consiste em encontrar características ou classificadores tolerantes à ruído. Vários trabalhos têm demonstrado que os algoritmos locais são menos sensíveis a oclusões parciais. Em Penev e Atick (1996) foi proposto Análise de Características Locais para

extração de características usando estatísticas de segunda ordem. Já Martinez (2002) propôs uma abordagem que consiste em dividir a imagem da face ocluída em  $k$  regiões locais. Se uma região estiver ocluída, esta é automaticamente detectada usando um modelo probabilístico. Além disso, foi proposto uma ponderação para regiões locais a fim de fornecer robustez em problemas que envolvem variação de expressão. Tan et al. (2005b) estendeu o trabalho de Martinez usando Mapas Auto-Organizáveis para apreender o subespaço ao invés de usar Gaussianas ou Mistura de Gaussianas. Em (KIM et al., 2005) foi proposto um método chamado Análises de Componentes Independente baseado em Saliências Locais, o qual emprega informação de saliências locais na extração das componentes independentes. Já em (FIDLER; SKOCAJ; LEONARDIS, 2006) foi proposto a combinação de métodos baseados em subespaço, como Análise de Componentes Principais, com métodos que visam a discriminação, como Análise de Discriminante Linear, objetivando melhor reconstrução das imagens de face. Em Jia e Martinez (2009), foi proposto o emprego de Máquinas de Vetores Suporte Parcial em cenários em que a oclusão pode ocorrer em ambos os conjuntos de treinamento e teste. Neste caso, problema de oclusão foi tratado como um problema de reconstrução e a classificação foi realizada de acordo com o erro de reconstrução obtido para a imagem de teste.

Outra estratégia que vem sendo utilizada é a Classificação baseada em Representação Esparsa (SRC), tendo alcançado desempenhos impressionantes no reconhecimento de imagens de face ocluídas. Wright et al. (2009b) foi o primeiro a empregar SRC para reconhecimento de faces ocluídas. Neste trabalho, a face ocluída é representada como uma combinação linear de todas as imagens de face e um vetor de erros no nível de pixel. A classificação foi realizada por meio da minimização da norma  $l_1$ . Yang et al. (2011) propuseram um método chamado Codificação Esparsa Robusta, que maximiza a estimativa da máxima verossimilhança do problema de codificação esparsa para oclusões não Gaussianas / Laplacianas de forma iterativa. Embora os métodos baseados em representação esparsa tenham obtido resultados de identificação significativos em faces ocluídas, esses métodos dependem de um grande número de amostras de faces de cada indivíduo com variações suficientes. Entretanto, em muitos cenários práticos de reconhecimento facial, as amostras de treinamento de cada indivíduo são muitas vezes insuficientes, no caso extremo somente uma face de cada indivíduo pode estar disponível.



A partir das pesquisas, foi visto que alguns trabalhos revelaram que o conhecimento prévio de oclusões pode melhorar significativamente a precisão do reconhecimento de face baseado em informações locais. Rama et al. (2008) mostraram empiricamente que o conhecimento prévio sobre a oclusão (anotado manualmente) pode melhorar o desempenho do *Eigenface*. Zhang et al. (2007) propuseram usar a divergência de Kullback-Leibler para estimar a distribuição de probabilidade de oclusões no espaço de característica, de modo a melhorar o método LGBPHS (*Local Gabor Binary Pattern Histogram Sequence*) para a face parcialmente ocluída.

Em outro ângulo Shermina e Vasudevan (2012) dividem a imagem da face em blocos e aplica a técnica de correspondência por blocos para detecção da oclusão e como método de reconstrução e reconhecimento utilizam Eigenfaces. Para reconstruir a face subtraem a imagem de entrada pela imagem média das faces e logo em seguida multiplica pelos Eigenfaces para obterem os coeficientes que serão multiplicados pelos Eigenfaces e com isso reconstruir a imagem. Enquanto Chiang e Chen (2011) também utiliza Eigenfaces para restaurar e reconhecer a face, já para detectar a oclusão aplica o método de Descoberta Iterativa da Face (IFR), este método, sendo responsável por criar conexões triangulares entre os pontos de referência da face, e com isso facilitar o processo de detecção da oclusão. Em outro momento (DENG; DAI; ZHANG, 2011) utiliza um grafo espectral baseado na ideia de reconstrução da imagem, em que o algoritmo cria uma matriz esparsa para representar a parte parcialmente ocluída da imagem, logo em seguida extrai as características da imagem para depois aplicar o grafo laplaciano para reconstruir a imagem.

Em Tan et al. (2005a) aplicou-se o algoritmo SOM para projetar a relação topológica da face e assim localizar a oclusão com o auxílio do KNN como classificador. Em contrapartida Huang e Yang (2012) utiliza Hidden Markov Models (HMM), com esta técnica sendo possível identificar os componentes faciais por meio de uma gramática facial. Nessa técnica foi possível aplicar o Universal Occlusion Model (UOM) para identificar onde está localizada a oclusão, como também qual componente facial ela está ocluindo. O trabalho de Zhang, Cerone e Gao (2006) apresenta o Kernel Associative Memory (KAM) com multi escala de transformação de Gabor. Já Wright et al. (2009a) utiliza classificação por representação esparsa como estratégia para detectar a parte ocluída na imagem da face. Enquanto Su, Ai e Lao (2009) apresenta o Multi View Face Alignment (MVFA) sendo

responsável por alinhar a face e identificar pontos de oclusão, entretanto essa abordagem apresenta-se pouco voltada a oclusão, tendo maior ênfase para o alinhamento da face, a partir das variações de pose.

### E.0.1 Skin Color

Para detecção da parte ocluída a partir das imagens em RGB foi utilizada a técnica Skin Color, entretanto essa técnica também apresentou limitações ao ser aplicada a ambientes não controlados. De modo que variações de iluminação na imagem de face parcialmente ocluída representava detecção da parte ocluída como pixels de pele, gerando a segmentação totalmente divergente dos pixels de oclusão e pixels de pele.

Desse modo essa técnica foi utilizada inicialmente, abrindo caminhos para novas técnicas de detecção da oclusão parcial na imagem da face.

[Falar mais das técnicas de detecção da oclusão parcial](#)

### E.0.2 Limiarização

Outra técnica que também pode ser utilizada para detecção da parte ocluída é aplicar um limiar nos pixels em escala de cinza e a partir desse limiar construir a máscara de oclusão da imagem parcialmente ocluída. Inicialmente nos experimentos foi utilizada essa técnica para tentar detectar a oclusão, entretanto a mesma apresenta queda de performance quando apresenta a contextos não controlados, sentindo dificuldades também de realizar a detecção da parte ocluída de objetos que apresentem tonalidade maiores que o limiar.

Neste trabalho a partir de inúmeros experimentos verificou-se que o limiar igual a 77 seria um bom limiar de aplicação da técnica para cenários controlados. Entretanto, essa técnica ao ser apresentada a imagens de face com variações de iluminação e oclusão apresentou péssimos resultados na detecção da parte ocluída.

Logo essa técnica pode ser utilizada ao lidar com tipos específicos de oclusão e necessariamente lidar com ambientes controlados para realizar uma considerável segmentação da parte ocluída e com isso gerar a máscara de oclusão.

### E.0.3 Algoritmo de correspondência dos blocos

Essa técnica para detecção da oclusão conhecida como BMA (do inglês: *Block Matching Algorithm*), sendo proposta por Shermina e Vasudevan (2012). Com essa técnica a imagem  $I$  é dividida em  $K$  blocos de tamanho  $(N \times N)$ . Na equação 1 é representada a estrutura da imagem  $I$  após sua divisão em  $K$  blocos.

$$I = \{Ib_1, Ib_2, \dots, Ib_K\} \quad (1)$$

No BMA divide-se a imagem em blocos de tamanhos similares que são utilizados para detectar a oclusão na imagem da face. Como estratégia de comparação entre os blocos com vistas a detectar a parte ocluída e não ocluída é utilizada a distância Euclidiana, a qual é utilizada para analisar a similaridade entre as imagens dos blocos.

Para análise de similaridade e correspondência entre os blocos compara-se cada imagem ocluída (imagem de consulta), com uma imagem presente na base de dados. Visto que uma imagem de consulta  $q$  foi dividida em  $k$  blocos por blocos como descrito na equação 2.

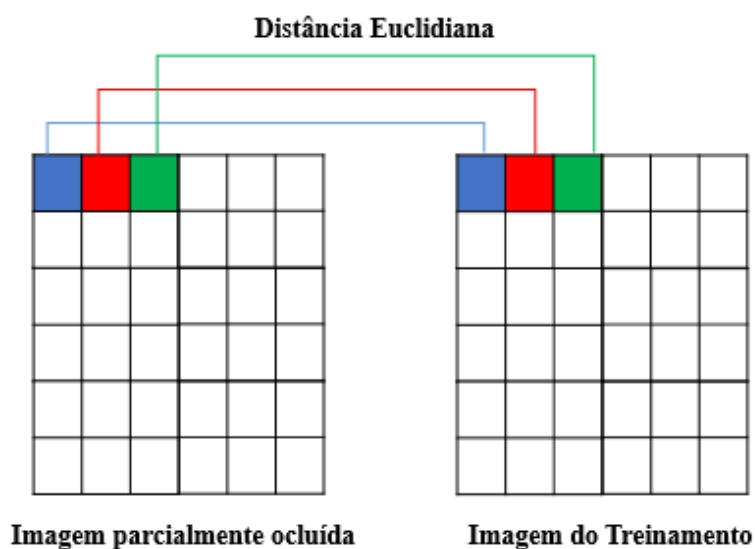
$$I = \{qb_1, qb_2, \dots, qb_K\} \quad (2)$$

Então comparamos cada bloco da imagem de consulta e a imagem presente no banco de dados, essa comparação sendo possível com auxílio das métricas da distância Euclidiana. Como descrito na equação 3.

$$Ed_a = \sqrt{\sum (Ib_a - qb_a)^2} \quad (3)$$

Na figura 14 é possível perceber o processo de detecção da oclusão com o auxílio da técnica BMA.

Figura 14 – Esquema do BMA



Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018

Em que  $a$  é o número de blocos das imagens. Após o cálculo da distância Euclidiana aplica-se um limiar para remover a oclusão. Na figura 15 apresenta-se na primeira linha imagens com oclusões parciais, e na segunda linha imagens com suas respectivas oclusões detectadas por meio de uma máscara de tamanho  $(2 \times 2)$ .

Figura 15 – Detecção da parte ocluída com a técnica de detecção por blocos



Fonte: Jonas Mendonça Targino, 2018. Imagens de faces obtidas após aplicação do Viola-Jones na base (MARTINEZ, 1998)