

Estimativa de Idade Aparente Invariante à Iluminação Utilizando a Decomposição de Valores Singulares

Ariane Héliida Cruz Lima, * Samira Santos da Silva, **
Marco Túlio Alves Nolasco Rodrigues, ***
Flávio Luis Cardeal Pádua ****

* *Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, MG, (e-mail: arianehelida@gmail.com).*

** *Universidade do Estado de Minas Gerais, MG (e-mail: samirapgti@gmail.com)*

*** *Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, MG (e-mail: tulio.rodrigues@uit.br)*

**** *Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, MG (e-mail: cardeal@cefetmg.br)*

Abstract: Every moment, humans easily recognize the identity of other people in photos, videos or live. They can estimate age, ethnicity, sex and other characteristics by face images. However, developing a computer system that accomplishes these tasks as well as humans is complex. This is due to the different conditions that face may be subject, which make it difficult for the system to perform the task. The estimation of apparent age has different practical applications such as: assistance in biometrics systems, aid in the discovery of fraud in identification documents, customer profiles, among others. On the other hand, there are many reasons to say that automatic age estimation is a challenging task. The lighting condition is one of the reasons, because depending on the illumination on the face, the estimation method may return an incorrect age. In view of this, in this research a methodology was developed to seek the estimation of an apparent age based on invariant lighting. Considering the results found, it was possible to infer that normalization methods that use the Singular Value Decomposition (SVD) minimize the illumination effects in face images, considering the apparent age returned from a literature approach. It was noticed that for very dark images the normalization did not obtain satisfactory results.

Resumo: A todo momento, humanos reconhecem facilmente a identidade de outras pessoas em fotos, vídeos ou ao vivo. Conseguem estimar a idade, etnia, sexo e outras características por imagens de face. Contudo, desenvolver um sistema computacional que realiza essas tarefas tão bem quanto humanos é uma difícil missão. Isso se deve às diferentes condições que a face pode estar sujeita, as quais dificultam com que o sistema realize a tarefa. A estimativa de idade aparente possui diferentes aplicações práticas como: assistência em sistemas de biometria, auxílio na descoberta de fraude em documentos de identificação, perfis de clientes, dentre outros. Em contrapartida, existem inúmeras razões para se dizer que a estimativa de idade automática é uma tarefa desafiadora. A condição de iluminação é uma dessas razões, pois dependendo da iluminação na face, o método de estimativa pode retornar uma idade incorreta. Tendo isto em vista, nesta pesquisa foi desenvolvida uma metodologia que busca estimar a idade aparente baseando-se em iluminação invariante. Diante dos resultados encontrados, foi possível inferir que métodos de normalização que utilizam a Decomposição de Valores Singulares (SVD) minimizam os efeitos de iluminação em imagens de face, considerando a idade aparente retornada pelo método da literatura. Percebeu-se também que para imagens muito escuras a normalização parece não contribuir na estimativa de idade.

Keywords: Apparent Age Estimation; Invariance to lighting; Face Recognition; Singular Value Decomposition; Convolutional Neural Network.

Palavras-chaves: Estimativa de Idade Aparente; Invariância à Iluminação; Reconhecimento Facial; Decomposição de Valores Singulares; Redes Neurais Convolucionais.

1. INTRODUÇÃO

Reconhecimento Facial é a técnica que faz a associação entre o nome e a face de um indivíduo (Samal and Iyengar, 1992), processo cujo objetivo é identificar uma pessoa por meio da análise de sua face, comparando-a com outras faces presentes em uma base de dados (Andrezza et al., 2015). Com o avanço da tecnologia, técnicas de reconhecimento facial são incorporadas em sistemas utilizados no dia a dia das pessoas, tais como, autenticação em smartphones, TVs, computadores, identificação de fraudes em documentos de identidade (Ascenso et al., 2004), sistemas de vigilância, acesso a caixas eletrônicos, controle de entrada de pessoas em áreas restritas (Nefian and Hayes, 1998), videogame, realidade virtual, passaportes (Zhao et al., 2003) ou até mesmo para identificação de pessoas e sugestões de marcações em fotos compartilhadas em redes sociais.

Ao falar em reconhecimento facial, deve-se considerar que a qualidade ou correção de um reconhecimento está diretamente ligada à como o sistema analisa a face sob diversas condições. Devido a este processo não ser feito em um ambiente controlado, a imagem pode sofrer modificações causadas por atores externos, como posição da face, condições de iluminação, expressões faciais, uso de acessórios, dentre outros. Dentre os fatores, a iluminação é considerada um dos desafios mais complexos quando o assunto é reconhecimento facial, pois para uma imagem de face, a variabilidade causada pela mudança de iluminação excede a variabilidade causada pelas mudanças de identidade (Thamizharasi and Jayasudha, 2016; Heseltine et al., 2003).

A variação de iluminação também afeta o desempenho de métodos que utilizam o reconhecimento facial como parte integrante do seu *pipeline*, como por exemplo: métodos de estimativa de idade aparente. Estes métodos consistem em estimar a idade de uma pessoa por meio de características faciais, diferentemente da idade biológica. A estimativa de idade aparente tem atraído a atenção de pesquisadores na área de visão computacional devido à abundância em aplicações reais como, por exemplo, no controle de acesso, demografia, sistemas de vigilância e identificação pessoal (Liu et al., 2015; Yang et al., 2015). Conforme Han et al. (2013), existem diversas áreas onde podem ser aplicados métodos de idade aparente. Alguns exemplos são: Controle de Segurança - evitar que menores de idade comprem bebidas alcoólicas ou cigarros de máquinas de venda e Interação Homem-Computador (IHC) - ajustar o conteúdo exposto em um sistema de acordo com a faixa etária. Com isso, é preciso que o método de estimativa não sofra influência da condição de iluminação presente na imagem, uma vez que, dependendo da baixa ou alta iluminação, a face perde características essenciais para o processo.

Após pesquisas na literatura, não foi possível encontrar um método que condensasse a normalização da iluminação e a estimativa de idade aparente em um só processo. Por este

motivo, nesta pesquisa serão aplicados métodos de minimização dos efeitos de iluminação em uma determinada base de dados, e após o pré-processamento, as imagens normalizadas serão submetidas ao método que estima a idade aparente. Desse modo, no final obterá a estimativa de idade aparente invariante a iluminação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para uma estimativa aparente de idade eficiente por meio de imagens de face é necessário conhecer as etapas que antecedem este processo. Por este motivo, esta seção apresentará conceitos básicos importantes e trabalhos relevantes da literatura.

2.1 Detecção de Faces

Kim et al. (2003) relatam que a detecção de face é a primeira etapa do processo de reconhecimento facial automático e também sofre influência de condições externas como: variação da pose, oclusão, iluminação e expressão facial. Roy and Podder (2013) descrevem os passos, as técnicas e as aplicações da detecção de faces. Uma das aplicações citadas pelos autores é o reconhecimento facial. Para eles, para reconhecer um rosto é necessário primeiramente detectar uma face e posteriormente compará-la com outras faces, para então verificar a identidade do indivíduo. Yang et al. (2002) classificam os métodos de detecção de faces de uma imagem única em quatro categorias: baseada em conhecimento, baseado em recursos, correspondência de modelos e baseado em aparência.

Baseada em conhecimento Nesse método, a detecção de face é feita com base nas regras derivadas do conhecimento humano do que constitui uma face típica. Por exemplo, um rosto normalmente aparece em uma imagem com um nariz, uma boca e dois olhos simétricos um ao lado do outro, como é mostrado na Figura 1. O problema com essa abordagem é a complexidade em traduzir o conhecimento humano em regras bem definidas, além de ser custoso detectar faces em poses diferentes, pois é difícil enumerar todos os casos possíveis.

Baseada em características Nessa abordagem, Yang et al. (2002) inferem que em um rosto existem características ou propriedades invariantes, dado que humanos podem facilmente detectar faces em diferentes poses e condições de iluminação. Características como olhos, nariz, sobrancelhas, boca e linha do cabelo são frequentemente extraídas usando detectores de bordas e com base nisso um modelo estatístico é criado para relatar as suas relações e verificar a existência de um rosto. A desvantagem desse método é que os recursos das imagens podem ser corrompidos devidos a oclusão, ruído e iluminação.

Correspondência de modelos Um padrão de face é predefinido por uma função e a existência de uma face é

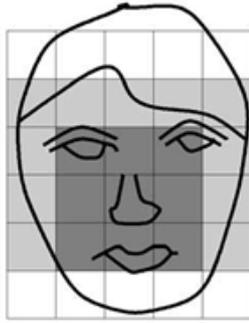


Figura 1. Face típica da técnica de detecção facial baseada em conhecimento. As regras são definidas baseadas no conhecimento humano sobre características faciais (Yang and Huang, 1994).

determinada pelos valores de correlação entre a face padrão e a imagem de entrada. Os valores de correlação são calculados para o contorno da face, nariz, olhos e boca independentemente. A implementação dessa técnica é simples, mas não é considerada eficiente, visto que não consegue lidar com modificações de pose, escala e forma.

Baseado em aparência Da mesma forma que o método correspondência de modelos possui um padrão de face, o método baseado em aparência também possui, mas com a diferença que o padrão não é definido por especialistas e sim por exemplos de imagens. Nessa técnica os modelos são aprendidos com imagens exemplos e dependem de técnicas de análise estatística e aprendizado de máquina para detectar uma face.

2.2 Reconhecimento Facial

De acordo com Zhao et al. (2003), o crescimento significativo do reconhecimento facial se deve a duas razões: a vasta gama de aplicações que usam essas técnicas e o avanço tecnológico. Apesar dos sistemas de reconhecimento atuais estarem evoluindo, o processo de reconhecer uma face em um ambiente externo, sujeito a mudanças de iluminação e/ou pose permanece um problema não resolvido.

Segundo Jafri and Arabnia (2009), o reconhecimento facial vem sendo utilizado em técnicas de biometria, em substituição à autenticação por senhas, cartões magnéticos, *tokens*, dentre outros métodos convencionais. Isso porque *tokens* e cartões podem ser duplicados ou perdidos, e senhas, por exemplo, são difíceis de recordar e podem ser esquecidas facilmente. No entanto, características biológicas de uma pessoa não são roubadas, esquecidas ou extraviadas.

Adicionalmente, Jafri and Arabnia (2009) relatam que o reconhecimento facial é utilizado para duas tarefas principais: identificação (correspondência um para muitos) e verificação (correspondência um para um). Os autores também mostram as dificuldades do reconhecimento, que podem ser divididas em dois grupos: fatores intrínsecos (idade, expressão facial, acessórios) e extrínsecos (iluminação, pose, resolução da imagem) (Gong et al., 2000).

Jafri and Arabnia (2009) separam as técnicas de reconhecimento facial em: métodos que atuam com imagens de intensidade, aqueles que operam com sequências de vídeo e

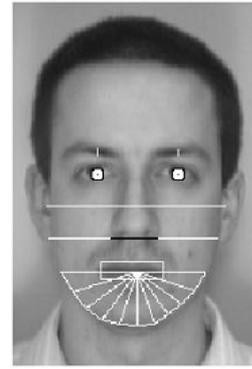


Figura 2. Características geométricas (em branco) usados em técnicas de reconhecimento facial (Brunelli and Poggio, 1993).

aqueles que necessitam de outras entradas sensoriais, como informações 3D e infra.

Imagens de Intensidade A técnica de reconhecimento facial a partir de imagens de intensidade, por sua vez, é dividida em duas categorias: *Features-based* (baseada em características) e *Holistic* (holística).

As abordagens *Featured-based* fazem o processamento de uma imagem de entrada visando identificar e extrair características faciais distintas, como boca, nariz, olhos, etc., para então calcular relações geométricas entre os pontos faciais e posteriormente empregar técnicas de reconhecimento de padrões estatísticos, combinando faces por meio dessas medidas. A Figura 2 apresenta um exemplo de face com as características geométricas demarcadas. A vantagem do *Featured-based* é que esses métodos são relativamente robustos (Jebara, 1995) e podem ser invariáveis ao tamanho, orientação e/ou iluminação (Cox et al., 1996). A desvantagem é a dificuldade de detecção automática de características e saber quais são as mais importantes (Cendrillon and Lovell, 2000).

Já as abordagens *Holistic* identificam faces baseadas na imagem inteira e não somente nas características locais da face. Muitas vezes o reconhecimento é feito por comparações de correlação direta entre a face e todas as outras faces da base de dados. A principal vantagem é que, no método *Holistic*, nenhuma das informações nas imagens de entrada são destruídas (Jebara, 1995), pois essas abordagens partem do pressuposto que todos os pixels são importantes (Cendrillon and Lovell, 2000). Já a desvantagem é devido ao alto custo computacional e por não funcionar efetivamente sob grandes variações de iluminação, pose, escala, dentre outros (Beumier and Acheroy, 2000).

Sequências de Vídeo Uma quantidade significativa de pesquisas foi direcionada para o estudo de métodos que lidam com sequências de vídeo, devido ao aumento de aplicações que envolve o reconhecimento facial em tempo real, como por exemplo a área de vigilância. Este método normalmente consiste em três etapas: uma para detecção de face, outra para rastreá-la, e a última para reconhecê-la (Torres et al., 2000). Grande parte desses sistemas detectam a face, escolhem os melhores quadros, como mostra a Figura 3 e, por fim, aplicam técnicas de reconhecimento de

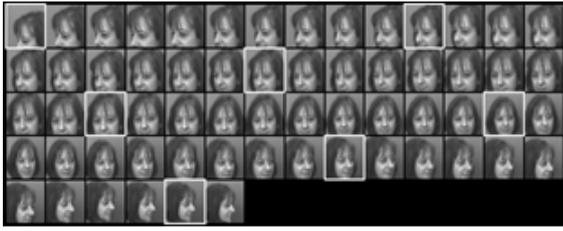


Figura 3. Exemplo de quadros escolhidos para aplicação do reconhecimento facial (Howell and Buxton, 1996).

imagens de intensidade para a identificação do indivíduo (Chellappa et al., 1995).

Este método muitas vezes é prejudicado por imagens de baixa qualidade, fundos desordenados, presença de mais de uma face, e além disso, possui um grande número de dados a serem processados. Por outro lado, devido à abundância de dados, é possível escolher a melhor imagem e descartar as outras (Howell and Buxton, 1996). Outra vantagem é que o vídeo permite o rastreamento de imagens faciais de maneira que as mudanças de expressões faciais e pose sejam compensadas.

Outras Entradas Sensoriais Jafri and Arabnia (2009) explicam o método de reconhecimento facial a partir de outras entradas sensoriais, os quais podem ser baseados em modelos 3D ou infra vermelho. Os modelos 3D permitem descobrir características baseadas na curvatura e na forma da face como: bochechas, forma da testa e da mandíbula, sem ser influenciado pelas variações de iluminação. Em contrapartida, os custos e a complexidade computacional dessas técnicas são substanciais.

As imagens infravermelhas térmicas são praticamente insensíveis a iluminação (Wolff et al., 2003) e revelam o tecido da face e a estrutura da veia, as quais são únicas para um indivíduo, assim como a impressão digital, produzindo resultados favoráveis no reconhecimento facial (Cutler, 1996). A dificuldade encontrada nessa técnica é o custo dos sensores térmicos, o alto nível de ruídos nas imagens e pelo fato das imagens infra vermelhas serem sensíveis às modificações do ambiente, vento e processos metabólicos da pessoa em análise (Selinger and Socolinsky, 2006).

2.3 Reconhecimento facial invariante à iluminação

Thamizharasi and Jayasudha (2016) trazem um sistema de reconhecimento facial invariante à iluminação utilizando 2D DCT (*Discrete Cosine Transform*) e CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*). Para desenvolver o sistema, foi aplicado o 2D DCT na imagem e extraídos os coeficientes DCT. Em seguida, são selecionadas várias porcentagens dos coeficientes DCT que correspondem a um certo tamanho da imagem original. Então a imagem original é redimensionada de acordo com essas porcentagens. Os componentes de alta frequência dos coeficientes DCT são ajustados para zero e o CLAHE e a transformação de logaritmo são aplicados para ajustar o contraste na imagem. Com isso, a imagem obtida é a imagem melhorada e denominada imagem "En-DCT". En-DCT é a imagem de face invariante à iluminação usada para testar a precisão do reconhecimento de face. Após

os experimentos, os autores concluíram que a seleção dos coeficientes de 95% DCT mostra taxa de reconhecimento de 91,56% e uma taxa de erro de 2,87%.

Kim et al. (2014) propõem um método para extrair características invariantes à iluminação para reconhecimento e verificação de faces sob diferentes iluminações, baseado nos coeficientes normalizados da SVD (*Singular Value Decomposition*). Segundo os autores, a chamada SVD-Face preserva as texturas da imagem original com base no relaxamento dos coeficientes SVD. Depois de diversos experimentos, foi possível comprovar que a SVD-Face fornece a imagem confiável da face sob diversas condições de iluminação.

2.4 Idade Aparente utilizando Reconhecimento Facial

Em visão computacional e em reconhecimento de padrões, a estimativa de idade é um problema importante a ser estudado e tem recebido grande interesse nos últimos anos. O objetivo da estimativa de idade aparente é prever a idade de uma pessoa baseada na sua face e, diferentemente da estimativa de idade biológica, os rótulos etários são anotados por avaliadores humanos e não pela idade real. Diante disso, sistemas que fazem a estimativa de forma automática enfrentam um desafio: a escassez de base de dados, uma vez que não há muitas imagens de face rotuladas com a idade aparente e as que possuem rótulos muitas vezes não são consistentes para diferentes avaliadores (Zhu et al., 2015).

A estimativa de idade aparente de forma automática com base em imagens faciais possui diversas aplicações práticas como: perfis de clientes, estatísticas demográficas e assistência biométrica. Segundo os autores, realizar a estimativa de idade é uma tarefa desafiadora, já que, devido ao processo de envelhecimento, as faces de pessoas que estão na mesma faixa etária podem ter variações significativas Antipov et al. (2016).

Han et al. (2013) relatam que humanos possuem facilidade em coletar informações como idade, sexo, etnia e identidade baseado em imagens de faces. Contudo, para muitas aplicações práticas, depender de humanos não é uma solução viável. Por este motivo, há um crescente interesse em extrair essas informações de forma automática.

2.5 Discussão

A partir dos trabalhos encontrados na literatura, foi possível perceber que para estimar a idade aparente por meio de imagens de face invariante à iluminação, é necessário entender sobre alguns temas como detecção facial, reconhecimento facial, métodos que reduzem o efeito da iluminação e métodos de estimativa de idade automática. Além disso, entende-se que tanto a detecção quanto o reconhecimento facial possuem técnicas que são consideradas mais eficazes em determinadas situações e menos em outras. Com a revisão bibliográfica, foi possível compreender também que existem métodos de estimativa de idade e métodos que reduzem o efeito da iluminação em imagens, mas que ainda não trabalham em conjunto, como na abordagem aqui proposta.

3. METODOLOGIA

A metodologia proposta neste trabalho pode ser dividida em duas partes principais. A primeira parte tem o objetivo de minimizar os efeitos de iluminação em imagens de face por meio do desenvolvimento de métodos de normalização. Já a segunda parte tem o objetivo de testar a eficácia dos métodos implementados na fase anterior, por meio da estimativa de idade aparente automática, verificando se houve uma melhora nos resultados após a normalização. A Figura 4 ilustra de forma sintática como o método deve funcionar.

3.1 Fase de Normalização da Iluminação

Na fase de normalização, as imagens da base de dados são pré-processadas utilizando métodos de minimização dos efeitos de iluminação. Nesta pesquisa, os métodos implementados são baseados na Decomposição de Valores Singulares (SVD). Segundo Kim et al. (2014), aplicando o relaxamento e a normalização dos coeficientes SVD (*Singular Value Decomposition*), é possível obter uma imagem invariante à iluminação e uma melhora no desempenho do reconhecimento facial.

Baseado no trabalho proposto por Kim et al. (2014), nesta pesquisa foram implementados dois métodos de normalização utilizando o SVD, o SVD Face e o Diagonal SVD. Ambos os métodos consistem em aplicar o SVD em um bloco local β de tamanho $N \times N$ pixels como segue:

$$\beta = USV^T, \quad (1)$$

onde U e V são matrizes ortogonais satisfazendo $U^T U = I$, $V^T V = I$. Para denotar os valores singulares do bloco β foi utilizada a diagonal $S = \text{diag}(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$.

No primeiro método, SVD Face, após aplicação do SVD em β , todos os elementos da diagonal S foram relaxados por uma variável λ e em seguida o maior valor singular t_1 foi normalizado pela soma de todos os elementos da diagonal. Por fim, o pixel (x, y) do bloco β foi substituído pelo resultado da normalização. Já no segundo método, Diagonal SVD, após a aplicação do SVD no bloco β , o pixel $\beta(x, y)$ é substituído pelo maior valor da diagonal S relaxado por uma variável λ .

Após a normalização por qualquer um dos dois métodos, as imagens normalizadas são armazenadas para serem utilizadas na próxima etapa.

3.2 Fase Estimativa de Idade Aparente

Na abordagem proposta neste trabalho, consideramos que o método de estimativa de idade já deve ter sido treinado anteriormente, pois o mesmo exerce a função somente de validar os métodos de normalização. Nesta fase, as imagens normalizadas, as consideradas como base (aquelas que fornecem a idade aparente real) e as com efeitos de iluminação (imagens originais) são processadas pelo método. Ele, por sua vez, realiza o processo de detecção facial, para verificação da presença de uma face. Posteriormente, realiza a extração de características e, por fim, estima a idade aparente da face.

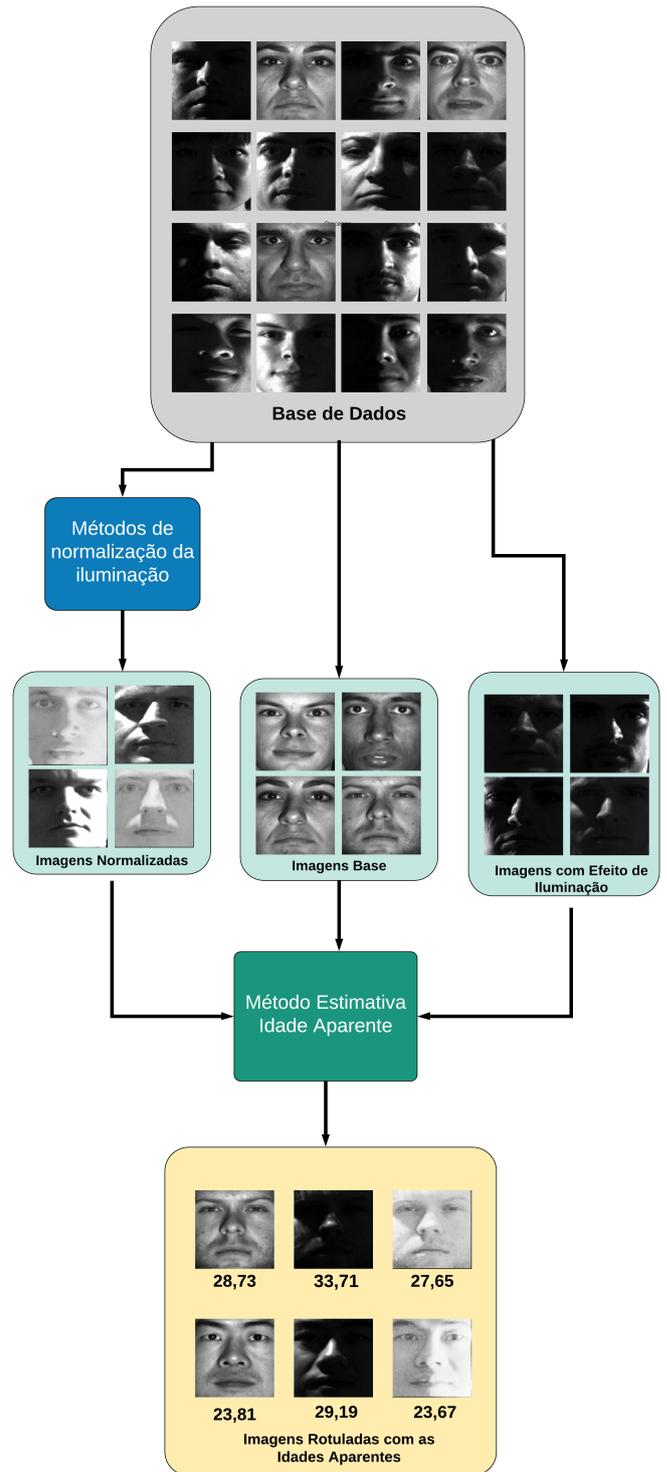


Figura 4. Fases necessárias para estimativa de idade aparente baseada em iluminação invariante.

A fim de validar os métodos de normalização de iluminação, utilizou-se o método de estimativa de idade aparente desenvolvido por Antipov et al. (2016). Os autores desenvolveram o mesmo na competição *ChaLearn LAP* e foram vencedores. De forma simplificada, o pipeline consiste no treinamento da Rede Neural Convolutiva (CNN) em 2 etapas: primeiramente, a CNN é treinada para estimativa de idade biológica em uma base de dados externa; em se-

guida, ajustaram a rede para estimativa de idade aparente usando o conjunto de dados da competição.

As imagens de face de cada sujeito foram submetidas ao método de estimativa da seguinte forma:

- Imagem base: Uma imagem de face, sem efeitos de iluminação, foi submetida para ter-se como referência a idade aparente do sujeito. Ela é quem fornece a idade aparente "correta".
- Imagens com efeito de iluminação (Imagens Originais): As imagens influenciadas pela iluminação foram processadas no método.
- Imagens normalizadas: Por fim, as imagens normalizadas por meio dos métodos SVD Face e Diagonal SVD foram processadas.

Ao final, as idades aparentes de cada sujeito foram obtidas e verificou-se a diferença entre a idade base e a idade retornada pelo método para as imagens normalizadas.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesta seção, serão apresentados o modo como foram executados os passos da metodologia e os resultados encontrados após todo o processo.

4.1 Configuração do Experimento

Nessa seção, serão apresentadas as configurações necessárias para a execução dos métodos, bem como a base de dados utilizada e os valores das variáveis essenciais para o processo de estimativa de idade aparente invariante à iluminação.

Base de Dados A base de dados utilizada para os testes foi a *The extended Yale Face Database B* (Georghiadis et al., 2001), a qual contém 16128 imagens de 28 pessoas em 9 poses e 64 diferentes condições de iluminação. Para o experimento, a base de dados foi utilizada da seguinte forma: das 9 poses, usou-se somente 1 (frontal); das 64 condições de iluminação, escolheu-se, aleatoriamente, 5 condições diferentes; e as imagens foram usadas em formato recortado (*cropped*), representando somente a face. Devido ao método de estimativa de idade ser configurado para receber imagens no tamanho 224x224 pixels, as imagens da base de dados foram redimensionadas. Devido aos recursos computacionais disponíveis para pesquisa serem escassos, não foi possível processar a base de dados completa. Isso se deve porque o método de estimativa de idade aparente requer capacidade de processamento superior, para que o tempo de execução não seja alto. Além disso, cada imagem da base de dados foi submetida ao método 3 vezes, sendo uma a imagem original, a outra normalizada pelo SVD Face e a última normalizada pela Diagonal SVD. Até o momento, foram processadas imagens de 12 sujeitos em 5 diferentes condições de iluminação.

Definição de Parâmetros Para aplicação do método de normalização de iluminação, a imagem original foi pré-processada em blocos locais de tamanho 3x3 pixels, utilizando a técnica de janela deslizante. Com isso obteve-se maior granularidade, maior participação dos pixels no cálculo SVD e normalização de uma quantidade maior de pixels.

Com finalidade de relaxar os pixels da diagonal S , foi utilizada uma variável λ atribuída a um certo valor. Alguns exemplos de resultados do relaxamento com diferentes valores de λ para o SVD Face é mostrado na Figura 5. Quanto maior o valor de λ no método Diagonal SVD maior será o valor de intensidade dos pixels, ou seja, o valor de cada pixel se aproximará de 255, que é considerado o branco puro. Já com o SVD Face acontece o contrário, quanto menor o valor da variável λ , mais próximo de 255 serão os valores dos pixels. Diante disso, de acordo com experimentos, verifica-se que o melhor valor para λ é igual a 5 para o método Diagonal SVD e 20 pra o SVD Face.



Figura 5. (a) $\lambda = 0$, (b) $\lambda = 5$, (c) $\lambda = 20$ e (d) $\lambda = 30$.

Após a execução dos métodos SVD, é necessário substituir um pixel do bloco local pelo valor normalizado, como é informado na Subseção 4.1.2. Diante disso, foram realizados testes para verificação de qual pixel seria substituído, o primeiro pixel $\beta(0,0)$ ou o pixel central $\beta(1,1)$. Como é mostrado na Figura 6, a substituição do pixel $\beta(0,0)$ fez com que a imagem processada perdesse menos características da face e por esse motivo a normalização foi feita no primeiro pixel.

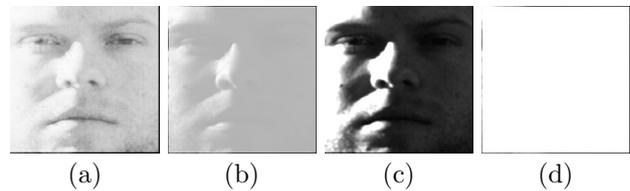


Figura 6. (a) SVD Face $\beta(0,0)$, (b) SVD Face $\beta(1,1)$, (c) Diagonal SVD $\beta(0,0)$ e (d) Diagonal SVD $\beta(1,1)$.

4.2 Análise Quantitativa

Ao processar as imagens originais e as normalizadas no método de estimativa, o mesmo retornou as idades aparentes referentes a cada uma. Na Figura 7, é mostrado o retorno do método de uma das imagens processadas para diferentes versões.

De forma gráfica, a Figura 8 mostra a diferença entre a idade base e as idades retornadas do método de estimativa de idade aparente de todas as imagens de um sujeito, sendo que as colunas na cor azul representam a diferença da idade nas imagens originais, as de cor laranja das imagens normalizadas pelo SVD Face e as de cor amarela as imagens normalizadas pelo Diagonal SVD.

Ao analisar o gráfico percebe-se que, para este sujeito, a diferença de idade em relação a idade base foi menor em todas as imagens as quais foram submetidas ao processo de normalização, ou seja, de modo geral as idades das imagens

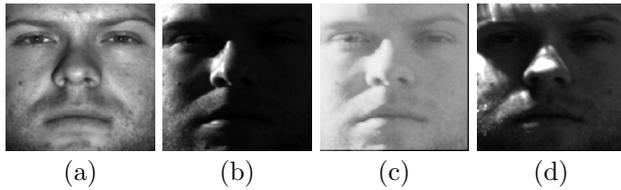


Figura 7. Retorno do método de estimativa de idade (em anos) (a) Imagem Base = 28,73, (b) Imagem Original = 31,41, (c) SVD Face = 28,15 e (d) Diagonal SVD = 27,31.

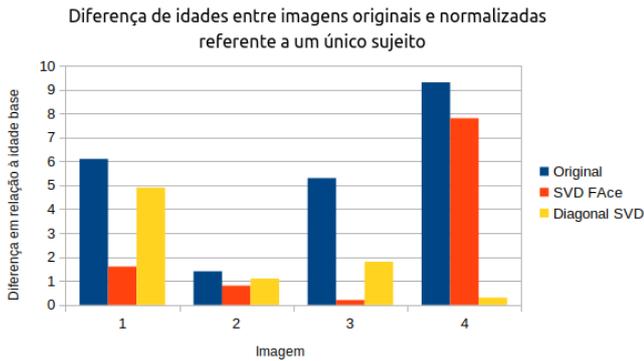


Figura 8. Gráfico que demonstra a diferença entre a idade base e as idades retornadas de todas as imagens processadas pelo método de estimativa de idade aparente referente um sujeito

normalizadas se aproximaram mais da idade tomada como base.

Para verificar o quanto os métodos de normalização foram eficazes para estimativa de idade aparente, as imagens foram quantificadas de acordo com a diferença entre a idade base e a idade retornada das imagens normalizadas. O resultado é demonstrado na Figura 9. Ressalta-se que o resultado refere-se ao dois métodos de normalização, ou seja, cada imagem normalizada, independentemente do método, foi contabilizada na categoria que se enquadrava: de 0 a 3 anos; de 4 a 7 anos; acima de 8 anos .

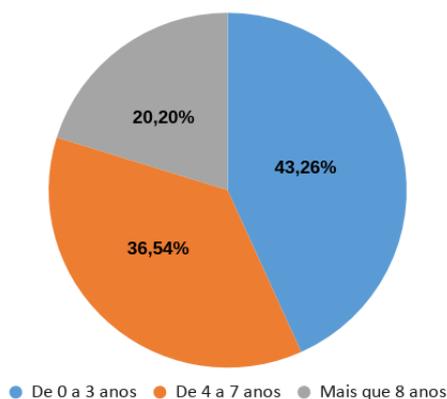


Figura 9. Quantidade de imagens (em porcentagem) categorizadas de acordo com a diferença em anos entre a idade aparente da imagem base e a idade aparente da imagem normalizada.

Ao observar as imagens que se encontram na seção em cinza no gráfico acima, notou-se que em metade delas a estimativa de idade incorreta foi somente para um método de normalização. Por exemplo: em uma imagem, a idade base era 28 anos, para o SVD Face foi retornado 20 anos, mas para o Diagonal SVD foi 25 anos, ou seja, se em uma determinada imagem um método não é eficaz, o outro é. Na outra metade, verificou-se um padrão: imagens muito escuras. Os métodos de normalização não conseguiram preservar as características da face e consequentemente a idade estimada ficou distante da correta.

A fim de validar qual dentre os métodos de normalização foi o mais eficaz em contribuir para uma estimativa de idade mais coerente levando em consideração a idade base, foi plotado um gráfico constando a diferença de idade entre imagens normalizadas e a base, conforme a Figura 10.

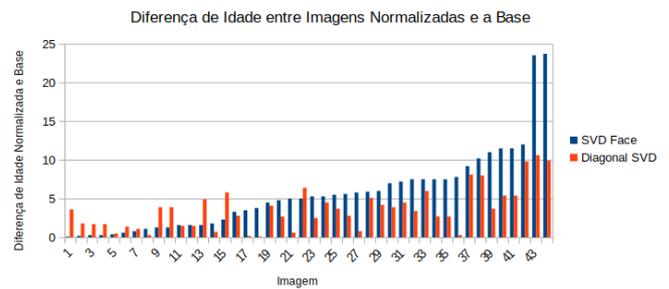


Figura 10. Gráfico que representa diferença de idade entre a imagem base e as imagens normalizadas pelos métodos SVD Face e Diagonal SVD

É possível notar que os dois métodos apresentaram resultados próximos, entretanto, a abordagem de normalização Diagonal SVD apresentou resultados mais satisfatórios quando comparada ao SVD Face.

5. CONCLUSÕES

É notório o crescimento no uso de sistemas de reconhecimento facial e de estimativa de idade aparente, mas é certo que quando se fala nestes sistemas é necessário levar em consideração a influência que a condição de iluminação tem no resultado final. Assim sendo, posteriormente à aplicação dos métodos de normalização de iluminação SVD Face e Diagonal SVD nas imagens de face e o processamento das mesmas no método de estimativa de idade neste trabalho obteve-se uma conclusão. Os métodos de normalização mostraram-se eficazes e minimizaram os efeitos da iluminação nas imagens de face, ou seja, o resultado obtido das imagens normalizadas aproximaram-se do resultado esperado. Contudo, constata-se que para imagens em que há muita ausência de luz, os métodos não conseguiram manter as características importantes ocasionando a discrepância entre a idade base e a idade estimada. Vale ressaltar que para imagens com pouca influência da iluminação, não se faz necessário o uso dos métodos de normalização. Para trabalhos futuros, poderá ser implementado um método de normalização que trabalha diretamente com imagens com baixa iluminação, testar os métodos em uma base maior de dados, e por fim verificar a eficácia do método em vídeos.

REFERÊNCIAS

- Andrezza, I.L.P. et al. (2015). Análise de técnicas de normalização aplicadas ao reconhecimento facial.
- Antipov, G., Baccouche, M., Berrani, S.A., and Dugelay, J.L. (2016). Apparent age estimation from face images combining general and children-specialized deep learning models. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 96–104.
- Ascenso, J., Valentim, J., and Pereira, F. (2004). Reconhecimento automático de faces usando informação de textura e de geometria 3d. *Instituto Superior Técnico das Telecomunicações. Lisboa*, 1049–001.
- Beumier, C. and Acheroy, M. (2000). Automatic face recognition. In *Proceedings symposium IMAGING*, 77–89.
- Brunelli, R. and Poggio, T. (1993). Face recognition: Features versus templates. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 15(10), 1042–1052.
- Cendrillon, R. and Lovell, B. (2000). Real-time face recognition using eigenfaces. In *Visual Communications and Image Processing 2000*, volume 4067, 269–277. International Society for Optics and Photonics.
- Chellappa, R., Wilson, C.L., and Sirohey, S. (1995). Human and machine recognition of faces: A survey. *Proceedings of the IEEE*, 83(5), 705–741.
- Cox, I.J., Ghosn, J., and Yianilos, P.N. (1996). Feature-based face recognition using mixture-distance. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1996. Proceedings CVPR'96, 1996 IEEE Computer Society Conference on*, 209–216. IEEE.
- Cutler, R.G. (1996). *Face recognition using infrared images and eigenfaces*. University of Maryland.
- Georghiadis, A., Belhumeur, P., and Kriegman, D. (2001). From few to many: Illumination cone models for face recognition under variable lighting and pose. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, 23(6), 643–660.
- Gong, S., McKenna, S.J., and Psarrou, A. (2000). *Dynamic vision: from images to face recognition*. Imperial College Press.
- Han, H., Otto, C., and Jain, A.K. (2013). Age estimation from face images: Human vs. machine performance. In *Biometrics (ICB), 2013 International Conference on*, 1–8. IEEE.
- Heseltine, T., Pears, N., Austin, J., and Chen, Z. (2003). Face recognition: A comparison of appearance-based approaches. In *Proc. VIIth Digital image computing: Techniques and applications*, volume 1.
- Howell, A.J. and Buxton, H. (1996). Towards unconstrained face recognition from image sequences. In *Automatic Face and Gesture Recognition, 1996., Proceedings of the Second International Conference on*, 224–229. IEEE.
- Jafri, R. and Arabnia, H.R. (2009). A survey of face recognition techniques. *Jips*, 5(2), 41–68.
- Jebara, T.S. (1995). 3d pose estimation and normalization for face recognition. *Centre for Intelligent Machines, McGill University*.
- Kim, I., Shim, J.H., and Yang, J. (2003). Face detection. *Face Detection Project, EE368, Stanford University*, 28, 538.
- Kim, W., Suh, S., Hwang, W., and Han, J.J. (2014). Svd face: illumination-invariant face representation. *IEEE Signal Processing Letters*, 21(11), 1336–1340.
- Liu, X., Li, S., Kan, M., Zhang, J., Wu, S., Liu, W., Han, H., Shan, S., and Chen, X. (2015). Agetnet: Deeply learned regressor and classifier for robust apparent age estimation. In *The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops*.
- Nefian, A.V. and Hayes, M.H. (1998). Face detection and recognition using hidden markov models. In *Image Processing, 1998. ICIP 98. Proceedings. 1998 International Conference on*, volume 1, 141–145. IEEE.
- Roy, S. and Podder, S. (2013). Face detection and its applications. *International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology*, 1(2), 1–10.
- Samal, A. and Iyengar, P.A. (1992). Automatic recognition and analysis of human faces and facial expressions: A survey. *Pattern recognition*, 25(1), 65–77.
- Selinger, A. and Socolinsky, D.A. (2006). Appearance-based facial recognition using visible and thermal imagery: a comparative study. Technical report, EQUINOX CORP NEW YORK NY.
- Thamizharasi, A. and Jayasudha, J. (2016). An illumination invariant face recognition by selection of dct coefficients. In *International Journal of Image Processing (IJIP)*, volume 10, 14.
- Torres, L., Lorente, L., and Vila, J. (2000). Automatic face recognition of video sequences using self-eigenfaces. In *In International Symposium on Image/video Communication over Fixed and Mobile Networks, Rabat (Morocco)*. Citeseer.
- Wolff, L.B., Socolinsky, D.A., and Eveland, C.K. (2003). Quantitative measurement of illumination invariance for face recognition using thermal infrared imagery. In *Infrared Technology and Applications XXVIII*, volume 4820, 140–152. International Society for Optics and Photonics.
- Yang, G. and Huang, T.S. (1994). Human face detection in a complex background. *Pattern recognition*, 27(1), 53–63.
- Yang, M.H., Kriegman, D.J., and Ahuja, N. (2002). Detecting faces in images: A survey. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 24(1), 34–58.
- Yang, X., Gao, B.B., Xing, C., Huo, Z.W., Wei, X.S., Zhou, Y., Wu, J., and Geng, X. (2015). Deep label distribution learning for apparent age estimation. In *The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops*.
- Zhao, W., Chellappa, R., Phillips, P.J., and Rosenfeld, A. (2003). Face recognition: A literature survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(4), 399–458.
- Zhu, Y., Li, Y., Mu, G., and Guo, G. (2015). A study on apparent age estimation. In *The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops*.