

**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE
PERNAMBUCO**

**BACHARELADO EM ENGENHARIA DA
COMPUTAÇÃO
PROCESSAMENTO DIGITAL DE
IMAGENS**

**Facial Alignment via
Landmark-Guided Morphing
with Cosine Similarity
Analysis**

Gabriel
Albuquerque

Mário Guerra

Marcos
Prudêncio

Recife - PE

2025

Sumário

1. Introdução.....	3
2. Desafios Enfrentados.....	4
3. Desenvolvimento do Projeto.....	5
3.1 Ambiente e Ferramentas.....	5
3.2 Extração dos Landmarks.....	5
3.3 Face Morphing com Landmarks Alinhados.....	6
3.4 Pré-processamento, Padronização e Divisão das Amostras.....	8
3.5 Avaliação por Similaridade do Cosseno.....	9
3.6 Resultados.....	9
4. Conclusões.....	11
5. Referências.....	12

1. Introdução

O Reconhecimento Facial é um dos segmentos mais importantes da Visão Computacional, com aplicações que vão desde segurança até utilização de filtros em redes sociais. No entanto, a eficácia dos algoritmos de reconhecimento está fortemente atrelada à qualidade das imagens de entrada, especialmente no que se refere ao alinhamento dos rostos e suas regiões. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo aplicar técnicas de *Face Alignment* para melhorar a acurácia de reconhecimento facial, além de identificar os trechos da face mais relevantes para esta atividade, utilizando abordagens de Processamento Digital de Imagens sem recorrer a algoritmos de *Machine Learning*.

As técnicas utilizadas para resolução do problema incluíram a detecção de *Landmarks* faciais para o mapeamento de pontos-chave do rosto, o alinhamento por *Face Morphing* com base em imagens de referência e a aplicação de um pós processamento utilizando filtros de suavização e de ajuste de cor para melhorar o resultado visual da etapa de *morphing*. Para avaliar a efetividade do alinhamento na melhoria do reconhecimento, foi utilizada a similaridade de cosseno nas imagens antes e depois do alinhamento, permitindo verificar os ganhos ou perdas obtidos. Além disso, fez-se uma análise final de quais partes individuais do rosto - ou combinações entre elas - tinham maior impacto no processo de identificação, contribuindo para um entendimento aprofundado dos fatores que influenciam o reconhecimento facial.

Durante o desenvolvimento, diversos desafios foram enfrentados. Entre eles, destacam-se a dificuldade de realizar o alinhamento facial sem o auxílio de modelos robustos de *Machine Learning*, comumente utilizados para essa tarefa, e a seleção das melhores amostras de imagens para servir como base de alinhamento, considerando variações de iluminação, expressão e qualidade. Por fim, também surgiram questões ligadas à suavização e preservação de detalhes faciais relevantes após o *Face Morphing*.

Mesmo com todas as limitações, foi possível desenvolver uma técnica funcional e simples que demonstrou resultados satisfatórios para o contexto da disciplina de Processamento Digital de Imagens. O trabalho evidenciou que, mesmo sem o uso de técnicas sofisticadas de ML, é viável obter ganhos, mesmo que pequenos, no reconhecimento facial através de *Face Alignment*. Ademais, a análise das regiões faciais mais relevantes e suas combinações para o reconhecimento contribui para avanços futuros em sistemas de identificação.

2. Desafios Enfrentados

O desenvolvimento de uma técnica funcional de *Face Alignment* foi bastante desafiador, pois a maioria das aplicações relacionadas a este segmento fazem uso de modelos robustos de *Machine Learning* que não cabiam no escopo da disciplina. Isso exigiu a combinação e refinamento de uma série de abordagens mais simples e diretas, como manipulações geométricas e transformações com base em álgebra linear, o que demandou um maior esforço de implementação e validação.

Outro obstáculo relevante foi a seleção das amostras de referência para o alinhamento. Como o processo de *Face Morphing* depende diretamente de uma imagem base, a escolha da mesma é crítica, pois envolve a procura por faces com expressões preferencialmente neutras (visto que expressões exageradas tendem a interferir negativamente no posicionamento de *Landmarks* e na compatibilidade das substituições na imagem desalinhada), boa iluminação e devidamente alinhadas. Amostras mal selecionadas tendiam a gerar distorções visuais ou perda de informações relevantes para o reconhecimento facial.

Ademais, também surgiram problemas relacionados ao processamento das imagens após o *Face Morphing*. Contornos e regiões discrepantes originadas das substituições dos trechos da face provaram-se frequentemente difíceis de serem corrigidos sem perda de informação significativa, após a aplicação de filtros de suavização e de ajuste de cor. E quando não consertados, tendiam a causar anomalias visuais.

Por fim, os desafios enfrentados mostraram-se positivos ao passo que contribuíram diretamente para o amadurecimento técnico e científico da equipe, especialmente quando se busca explorar abordagens que fogem do senso comum e da dependência de modelos complexos.

3. Desenvolvimento do Projeto

3.1 Ambiente e Ferramentas

A implementação do projeto foi realizada totalmente em Python, no ambiente do Google Colab. As bibliotecas utilizadas e suas respectivas aplicações foram:

- **OpenCV**: Leitura, transformação e escrita de imagens.
- **dlib**: Extração automática dos pontos de referência faciais (*Landmarks*).
- **NumPy**: Manipulação de arrays.
- **Matplotlib** e **Pillow (PIL)**: Visualização de resultados.
- **scikit-learn**: Cálculo de métricas como a Similaridade de Cosseno, utilizada na avaliação dos resultados.

3.2 Extração dos *Landmarks*

O primeiro passo do *Pipeline* consistiu na identificação automática dos pontos de referência faciais (*Landmarks*). A detecção foi realizada por meio da biblioteca **dlib**, utilizando o modelo de predição de landmarks de 68 pontos. Estes pontos cobrem regiões relevantes como sobrancelhas, olhos, nariz, boca, mandíbula e contorno da face, essenciais para a etapa posterior envolvendo o *Face Morphing*.

Para este processo, foi desenvolvida uma função que retorna uma lista de coordenadas (x,y) da imagem de entrada que representam os pontos da face. Com o intuito de realizar validação visual, plotou-se os pontos obtidos na figura passada, como pode-se verificar na **Imagem 1**. Essa etapa foi determinante para evitar que erros na detecção de *Landmarks* prejudicassem o fluxo de alinhamento.



Imagem 1: Face do atleta LeBron James, astro do Basquetebol, com os *Landmarks* devidamente posicionados.

3.3 Face Morphing com Landmarks Alinhados

Após a validação do processo de posicionamento dos *Landmarks* Faciais, pode-se começar a implementação da etapa de *Face Morphing*. Esta técnica partiu do princípio de utilizar imagens onde os rostos estivessem alinhados como base para realizar o *Face Alignment* em outras que não possuíam originalmente esta característica. O *Pipeline* foi idealizado da seguinte forma:

1. Rotação e corte da imagem para centralização e alinhamento inicial da face;
2. Triangulação de Delaunay sobre os pontos intermediários obtidos a partir da interpolação dos *Landmarks* da imagem base e da desalinhada, com o objetivo criar regiões anatômicas segmentadas;
3. Transformação afim dos triângulos dos rostos nas imagens de entrada para o triângulo correspondente obtido dos pontos intermediários;
4. Fusão das regiões transformadas com ponderação uniforme;
5. Aplicação de filtros de suavização e de ajuste de cor para diminuir os contornos evidenciados principalmente pela diferença de iluminação das imagens.

À princípio, tentou-se o *Morphing* com toda dimensão do rosto em apenas uma etapa - como pode-se verificar nas **Imagem 2 e 3** - o que não forneceu resultados satisfatórios.



Imagem 2: Comparação entre a imagem frontal utilizada como base para o *Face Morphing* e a imagem a ser alinhada.



Imagem 3: Resultado do *Face Morphing* realizado com toda a dimensão do rosto em apenas uma etapa.

Como a primeira aplicação do *Face Morphing* apresentou *outputs* distorcidos e sem o alinhamento esperado, repensou-se o *Pipeline* para que a transformação fosse feita apenas em determinadas seções da face (como, por exemplo, utilização do *Morphing* apenas no trecho dos olhos). Isso não só permitiu um resultado visual aprimorado com menores distorções, como a análise do impacto de cada região da face e suas possíveis combinações no reconhecimento facial, uma vez que para cada tipo de substituição seria avaliado o seu impacto na taxa de Similaridade do Cosseno, explorado na seção 3.5. Pode-se conferir uma melhora visual significativa dos resultados na **Imagem 4**, onde apenas a região dos olhos sofreu a operação.



Imagem 4: Resultado do *Face Morphing* realizado apenas na região dos olhos.

3.4 Pré-processamento, Padronização e Divisão das Amostras

Com o fluxo de extração de *Landmarks* e aplicação de *Face Morphing* definido para realização do *Face Alignment*, partiu-se para a validação da técnica no *dataset Labeled Faces in the Wild (LFW)*. Esse conjunto de dados é amplamente utilizado para tarefas de reconhecimento e verificação facial, composto por mais de 13 mil imagens de rostos de figuras públicas coletadas da internet em condições não controladas, perfeito para testar a hipótese do projeto e o desdobramento de explorar quais regiões do rosto são mais relevantes para o Reconhecimento Facial.

No entanto, durante a implementação utilizando a LFW, surgiram diversos problemas relacionados à obtenção das imagens, que diversas vezes chegavam totalmente pretas ou de baixa qualidade, sem suporte para as operações de reconhecimento. Para contornar esse obstáculo, montou-se uma base contendo pares de imagens de 50 celebridades (pode-se visualizar uma pequena parcela da base na **Imagem 5**), respeitando a regra de uma imagem frontal e outra de perfil. Com isso, foi finalmente permitido englobar o necessário de características diferentes para validação do projeto, mesmo com a quantidade de amostras sendo limitada devido ao longo tempo exigido para aplicação das técnicas em cada uma delas e também ao extenso trabalho manual demandado para a montagem do *dataset*.

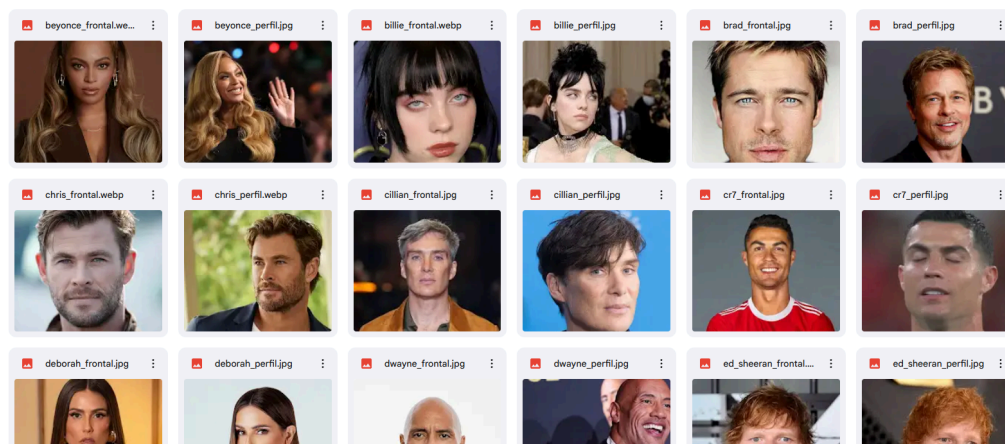


Imagem 5: Dataset criado com pares de imagens de celebridades, contendo perspectiva frontal e de perfil

3.5 Avaliação por Similaridade do Cosseno

Após a geração das imagens através do *Face Morphing*, cada versão foi comparada à imagem frontal original utilizando a Similaridade do Cosseno entre os embeddings faciais extraídos. Essa métrica avalia a proximidade angular entre os vetores de representação facial, indicando o grau de similaridade entre as identidades capturadas nas imagens (quanto mais próximo de 1, maior a semelhança).

Como o foco é aproximar as faces desalinhadas de faces base alinhadas com características positivas para o reconhecimento facial, a Similaridade do Cosseno é essencial para analisar o quão próximo do “ideal” foi possível alcançar. Ademais, foi permitido entender o impacto individual de cada região facial no processo de reconhecimento, reforçando a importância do alinhamento local no contexto do *Face Alignment*.

3.6 Resultados

Os resultados do trabalho demonstraram que, na maioria dos casos, a substituição isolada de regiões faciais não resultou em aumento significativo da similaridade. No entanto, a “troca” dos olhos foi a que mais apresentou melhora — ainda que modesta — sugerindo que essa é a região com maior densidade de informação discriminativa, como pode-se verificar nas **Imagem 6 e 7**.

Adicionalmente, a substituição combinada de múltiplas regiões (como olhos + nariz + sobrancelha) não apresentou ganhos expressivos em comparação à imagem de perfil original, e em muitos casos resultou em redução da similaridade, possivelmente devido à descontinuidade anatômica causada pela fusão de regiões com contextos geométricos e iluminativos diferentes.

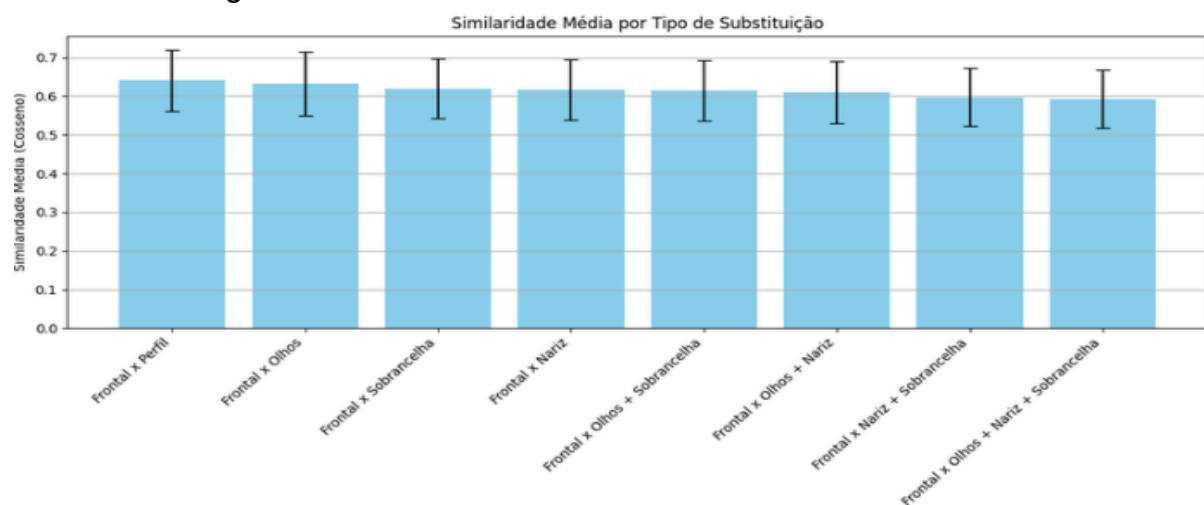


Imagem 6: Gráfico exibindo a comparação das imagens com suas respectivas substituições em relação a imagem de perfil original.

	Média	Desvio Padrão
Frontal x Perfil	0.6401	0.0792
Frontal x Olhos	0.6319	0.0818
Frontal x Sobrancelha	0.6199	0.0767
Frontal x Nariz	0.6165	0.0779
Frontal x Olhos + Sobrancelha	0.6140	0.0775
Frontal x Olhos + Nariz	0.6096	0.0797
Frontal x Nariz + Sobrancelha	0.5973	0.0750
Frontal x Olhos + Nariz + Sobrancelha	0.5927	0.0750

Imagem 7: Tabela com os resultados detalhados dos experimentos realizados no dataset montado.

Portanto, conclui-se que, embora a substituição parcial de regiões faciais possa oferecer benefícios — especialmente na região dos olhos — não é uma aplicação eficaz para todos os casos. A técnica não substitui por completo métodos de *Face Alignment* utilizando modelos robustos, mas se mostra como uma alternativa didática e interessante para compreender a importância de cada região facial no processo de identificação, além de gerar resultados particulares e inusitados que podem ser estudados mais a fundo.

4. Conclusões

Este trabalho teve como principal objetivo investigar e aplicar técnicas de *Face Alignment* através do *Face Morphing* com o intuito de melhorar o desempenho de sistemas de reconhecimento facial. O projeto se baseou na hipótese de que o alinhamento adequado dos rostos potencializa a precisão do reconhecimento facial ao passo que minimiza variações indesejadas na imagem, buscando para isso aproximar faces desalinhadas de face base que possuem características positivas para o *Face Recognition*, como frontalidade e expressões neutras.

Mesmo com as limitações encontradas - especialmente relacionadas a não utilização de algoritmos de *Machine Learning* - foi possível desenvolver uma solução funcional baseada em *landmarks* faciais, *Face Morphing* e filtros de suavização e de ajuste de cor, concluindo-se que abordagens clássicas ainda possuem espaço neste contexto. A utilização da similaridade de cosseno para fins de validação revelou que o alinhamento foi eficaz em diversos casos, confirmando sua contribuição para a melhoria no reconhecimento.

Além disso, os experimentos realizados permitiram identificar quais regiões faciais — como olhos, boca e sobrancelhas — e suas combinações são mais relevantes para a tarefa de reconhecimento. Essas conclusões contribuem para futuras investigações que busquem desenvolver métodos mais otimizados para sistemas de reconhecimento facial.

Em síntese, o trabalho demonstrou que é possível alcançar resultados satisfatórios com soluções que fogem de modelos robustos e reforçou a importância do *Face Alignment* como etapa fundamental para o reconhecimento facial. A equipe fica honrada de ter feito parte da disciplina de Processamento Digital de Imagens na Escola Politécnica de Pernambuco e agradece ao corpo docente por todo o conhecimento e orientação compartilhados.

5. Referências

THAKUR, Avnish. *Face morphing using OpenCV: A fun experiment with Python.* Medium, 2021. Disponível em: <https://medium.com/@thakuravnish2313/face-morphing-using-opencv-a-fun-experiment-with-python-81cf791fe464>.

WANG, Azmarie. *Face morphing: A step-by-step tutorial with code.* Medium, 2021. Disponível em: <https://azmariewang.medium.com/face-morphing-a-step-by-step-tutorial-with-code-75a663cdc666>.

GEEKSFORGEES. *Face Alignment with OpenCV and Python.* GeeksforGeeks, 2021. Disponível em: <https://www.geeksforgeeks.org/face-alignment-with-opencv-and-python/>.

KÄHÄRI, Mikael. *Facial landmarks and face alignment with Dlib, OpenCV, and Python.* 2020. Disponível em: <https://www.learnopencv.com/facial-landmark-detection/>. Acesso em: 3 jun. 2025.