

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

LUCAS ROMAGNOLI

**Uma Avaliação de Modelos para
Envelhecimento de Tatuagens**

Monografia apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência
da Computação

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Walter

Porto Alegre
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos André Bulhões

Vice-Reitora: Prof^ª. Patricia Pranke

Pró-Reitora de Graduação: Prof^ª. Cíntia Inês Boll

Diretora do Instituto de Informática: Prof^ª. Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Ciência de Computação: Prof. Marcelo Walter

Bibliotecário-chefe do Instituto de Informática: Alexsander Borges Ribeiro

RESUMO

A popularidade das tatuagens tem crescido nos mais diversos segmentos da sociedade. Seu uso em computação gráfica é amplo, particularmente em personagens de videogames. Embora sejam elementos permanentes, elas sofrem alterações com o tempo, causadas pela variação da concentração de pigmento na pele. Este trabalho busca avaliar e comparar três possibilidades de simulação de envelhecimento de tatuagens. Os resultados são validados comparando com imagens de tatuagens reais. O método que mais se aproxima do envelhecimento real considera o pigmento como um fluido que se espalha no corpo.

Palavras-chave: Tatuagem. processamento de imagens. envelhecimento.

An Assessment of Models for Tattoo Aging

ABSTRACT

Keywords: Tattoos, aging, image processing.

The popularity of tattoos has grown in the most diverse segments of society. Its use in computer graphics is widespread, particularly in video game characters. Although they are permanent elements, they undergo changes over time, caused by the variation in the concentration of pigment in the skin. This work seeks to evaluate and compare three possibilities of tattoo aging simulation. The results are validated against images of real tattoos. The method that comes closest to real aging considers pigment as a fluid that spreads in the body.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Personagem Baldur, do jogo <i>God of War</i> (2018).....	9
Figura 1.2	Série <i>Arcane</i> (2021), da Netflix. Baseada no jogo <i>League of Legends</i>	9
Figura 1.3	Exemplo do envelhecimento natural de tatuagens. Imagem à direita re- trata a tatuagem nova, enquanto a da direita é de 5 anos após a aplicação.....	9
Figura 2.1	Secção em corte lateral da pele humana.....	11
Figura 2.2	Efeito da aplicação do algoritmo de EAMES em tatuagem de design complexo.....	13
Figura 2.3	Aplicação de Blur Gaussiano de maneira a aproximar o envelhecimento da tatuagem na construção de um personagem digital.....	14
Figura 3.1	Features obtidas por SIFT da imagem da tatuagem recém feita e enve- lhada.....	17
Figura 3.2	Imagem com perspectiva ajustada. À esquerda a tatuagem original e à direita a mesma tatuagem após 5 anos. Imagem original com resolução de 1169x1055 reduzida pelo algoritmo para encaixar com a tatuagem envelhecida de redução 751x209.....	17
Figura 3.3	Imagem com cor ajustada, resolução 751x209.....	18
Figura 4.1	Comparação com imagem em (EAMES, 2011), considerando 20 anos de envelhecimento.....	22
Figura 4.2	Comparação da aplicação de algoritmos de envelhecimento e compara- ção com foto da mesma tatuagem 5 anos depois.....	24
Figura 4.3	Comparação da aplicação de algoritmos de envelhecimento.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Constantes utilizadas na aplicação do algoritmo de EAMES.	19
Tabela 4.1	Valores de erro - Tatuagem complexa extraída do artigo (EAMES, 2011). ..	21
Tabela 4.2	Valores de erro - Tatuagem envelhecida naturalmente - 5 anos.	23
Tabela 4.3	Valores de erro - Tatuagem envelhecida naturalmente - 2 anos.	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 BIOLOGIA DAS TATUAGENS E REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1 Biologia das Tatuagens	11
2.2 Modelagem do Envelhecimento de Tatuagens.....	12
2.2.1 Mecânica de Fluidos	12
2.2.2 Filtros espaciais.....	13
2.2.3 Morfologia Matemática	14
2.3 Tatuagens em Computação	14
3 METODOLOGIA	16
3.1 Pré-processamento	16
3.1.1 Correção de Perspectiva.....	16
3.1.2 Cor.....	18
3.2 Envelhecimento	18
3.2.1 Modelo baseado em dinâmica de fluídos	18
3.2.2 Filtros	19
3.2.3 Morfologia Matemática	20
3.2.4 Validação.....	20
4 RESULTADOS	21
4.1 Comparação entre as técnicas.....	21
4.2 Comparação com fotos do envelhecimento de tatuagens	23
5 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

Tatuagens são modificações corporais onde pigmentos são introduzidos na pele, de maneira a reproduzir imagens e gravuras com os mais diversos fins. Conforme Hawn (2021), existem evidências de que a prática data de milhares de anos, como múmias encontradas com suas tatuagens preservadas a mais de 5300 anos. Enquanto, neste caso, a prática era utilizada primariamente com objetivos religiosos, as tatuagens também eram utilizadas para variados fins, como estética, identificação, representação de funções sociais e status (KRUTAK, 2015).

Nos últimos séculos, as tatuagens ganharam um estigma, relacionando-as com áreas específicas da sociedade como prisioneiros, criminosos em geral, marinheiros e outras forças de trabalho braçal (EAMES, 2011). No entanto, existe uma crescente aceitação, em todos os âmbitos da sociedade, no uso de tatuagens, deixando de ser percebida como comportamento não-apropriado (KLUGER, 2015). No Brasil, segundo Bicca et al. (2013), entre uma população de quase 2000 jovens de 18 anos entrevistados ao se apresentar para serviço militar obrigatório, 10,82% apresentavam tatuagens. Já Kluger, Seité and Taieb (2019) relatam que 22,3% da população brasileira tem pelo menos uma tatuagem.

Com a popularidade das tatuagens, elas se tornaram elementos importantes na criação de personagens que se destacam em jogos digitais, como visto na Figura 1.1 e outras formas de animação, como visto na popular série de animação Arcane (Figura 1.2). A aplicação de tatuagens em computação gráfica é tradicionalmente implementada como mapeamento de texturas (LÁKIK, 2022), embora soluções mais caras existem, simulando a interação da luz em um modelo de camadas de pele (DONNER et al., 2008).

Um aspecto pouco explorado é o efeito visual do envelhecimento das tatuagens, que pode ser visualizado na Figura 1.3, e a maneira que isso permitiria a artistas demonstrar momentos diferentes na vida do personagem virtual. O envelhecimento digital de tatuagens também pode auxiliar em tarefas de reconhecimento de indivíduos procurados pela polícia, ou em situações de desastre da calamidade pública, sendo uma característica biométrica *soft* que contém informação para apoio à identificação de indivíduos (HARBERT, 2015) (NGAN; GROTH, 2015). O objetivo deste trabalho é avaliar e comparar três diferentes técnicas de simulação de envelhecimento de tatuagens: o algoritmo descrito por Eames (2011), técnicas de filtragem de imagem, conforme descrito em tutoriais e discussões online, (LÁKIK, 2022) e morfologia matemática.

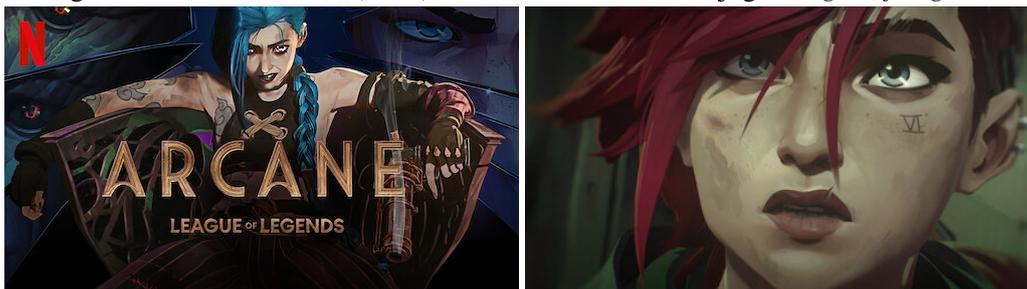
No Cap. 2 apresentamos uma revisão bibliográfica com uma visão geral sobre a

Figura 1.1 – Personagem Baldur, do jogo *God of War* (2018).



Fonte: IGN (<<https://www.ign.com/wikis/god-of-war-2018/Baldur>>)

Figura 1.2 – Série *Arcane* (2021), da Netflix. Baseada no jogo *League of Legends*.



Fonte: Netflix (<<https://www.netflix.com/br/title/81435684>>)

Figura 1.3 – Exemplo do envelhecimento natural de tatuagens. Imagem à direita retrata a tatuagem nova, enquanto a da esquerda é de 5 anos após a aplicação.



Fonte:

<https://www.reddit.com/r/agedtattoos/comments/x3rr0m/fine_line_mountain_tattoo_5_years_healed/>

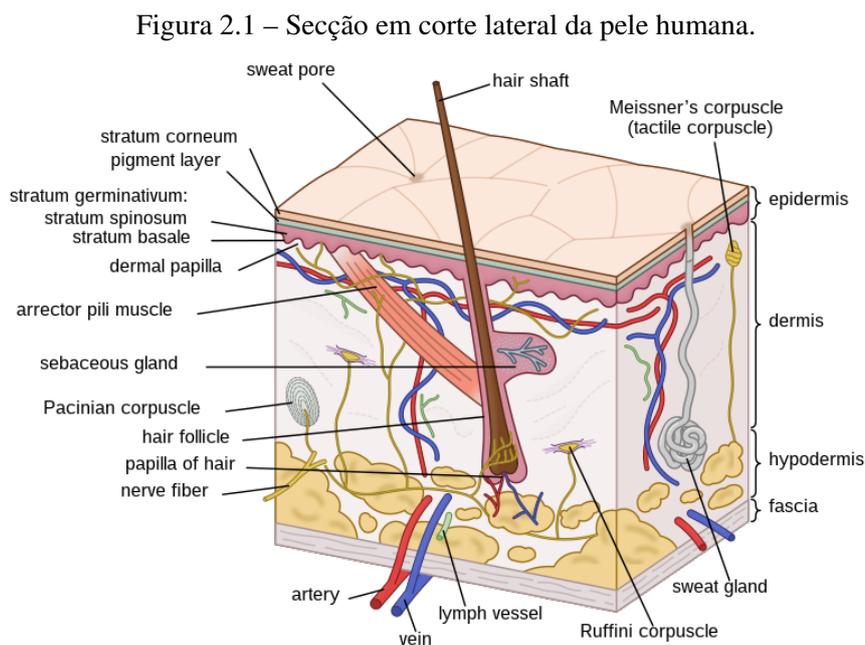
estrutura celular da pele humana e a interação desta com as tatuagens e seu envelhecimento, enquanto no Cap. 3 decorreremos sobre os materiais e métodos utilizados para a implementação e avaliação dos métodos de simulação de envelhecimento de tatuagens. A seguir, no Cap. 4 avaliaremos os resultados obtidos, exibindo e discutindo-os qualitativa e quantitativamente, finalizando no Capítulo 5 com a avaliação geral do trabalho, linhas que podem ser seguidas no futuro e limitações.

2 BIOLOGIA DAS TATUAGENS E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo inicialmente discutiremos a biologia envolvida nas tatuagens, como a estrutura da pele mantém o pigmento e dá permanência a tatuagem, seguido da descrição do processo de envelhecimento das mesmas, e alguns trabalhos em computação que abordam o assunto de tatuagens.

2.1 Biologia das Tatuagens

A Figura 2.1 apresenta um corte lateral da pele, que pode ser dividida basicamente em três camadas: epiderme, derme e o tecido subcutâneo. Tatuagens são realizadas aplicando uma suspensão de partículas de pigmento na pele pelo uso de agulhas sólidas (ENGEL et al., 2010).



Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Human_skin>

A fração do pigmento que permanece na derme pode ser englobada pelos fibroblastos que compõe a camada, enquanto a porção não englobada é removida pelo sistema linfático, o que faz com que pigmentos originados na tatuagem possam ser encontrados nos linfonodos na área próxima a tatuagem. Segundo Fujita et al. (1988), as partículas que não foram envolvidas pelos fibroblastos em 72 horas são completamente removidas pelos macrófagos. As partículas em questão são os pigmentos que dão cor diferenciada à pele tatuada. De acordo com Cuyper and D'hollander (2010), o pigmento mais comum

para tatuagens em preto é o CI 77266, composto de carbono, enquanto para a obtenção de outras cores uma variedade de pigmentos industriais e cosméticos são utilizados.

Conforme Eames (2011), as células na camada basal da epiderme, que fica em contato direto com a derme, se dividem constantemente, permitindo que a epiderme seja curada rapidamente, o que acarreta que os pigmentos depositados nessa região pelo processo de tatuagem sejam removidos completamente durante o período inicial de recuperação da pele. Já a derme é uma região mais espessa, composta majoritariamente de fibrócitos, que criam os tecidos conectivos, mas também abrigam macrófagos, conhecidos como glóbulos brancos.

2.2 Modelagem do Envelhecimento de Tatuagens

Nesta seção, apresentamos a modelagem visual para representação do envelhecimento de tatuagens.

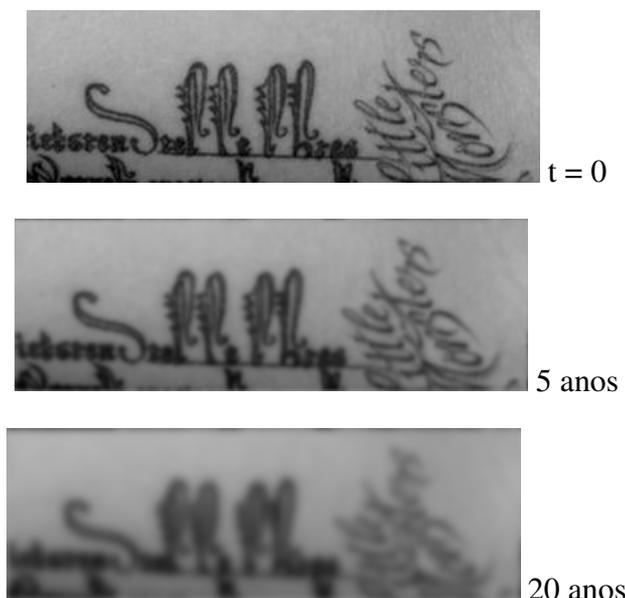
2.2.1 Mecânica de Fluidos

De acordo com Eames (2011), o processo de envelhecimento de tatuagens pode ser simulado utilizando modelagem de mecânica de fluidos. Enquanto as partículas de pigmento são insolúveis, e assim não sofrem difusão, o transporte através da divisão e morte celular dos fibroblastos leva a saltos aleatórios de distância equivalente ao tamanho característico dos fibroblastos, podendo então ser modelado como uma dispersão ao longo de um período de tempo Δt . No caso de morte da célula que contém o pigmento, o mesmo fica exposto aos macrófagos, que os retiram pelo sistema linfático. Unindo esses dois elementos, é possível chegar na Equação (2.1):

$$\frac{\partial \langle \bar{C} \rangle}{\partial t} = D \nabla_H^2 \langle \bar{C} \rangle - \alpha \langle \bar{C} \rangle, \quad (2.1)$$

onde ∇_H^2 é um Laplaciano bidimensional, α é a taxa de decomposição, uma constante que depende da cor da tatuagem, visto que essa influencia na proteção que as células tem da luz solar e teve seu valor aproximado baseado em observação empírica. O coeficiente de dispersão D foi obtido a partir da informação do tempo médio de divisão celular, $\Delta t \approx 40 - 60$ dias e do tamanho característico dos fibroblastos, $d \approx 100 \mu m$. (EAMES, 2011)

Figura 2.2 – Efeito da aplicação do algoritmo de EAMES em tatuagem de design complexo



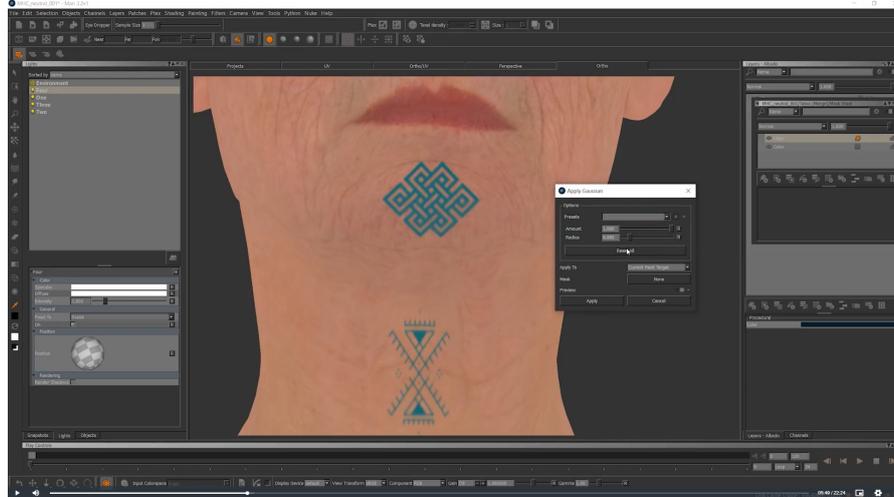
Fonte: Imagem de entrada extraída do artigo (EAMES, 2011), imagens processadas pelos autores aplicando o algoritmo de envelhecimento de Eames (2011) implementado neste trabalho.

Enquanto não é possível obter exatamente a concentração de pigmento na pele, utilizamos a intensidade da cor como substituto no algoritmo, definindo o preto como concentração máxima e o branco como completamente sem pigmento. O trabalho de Eames (2011) fez simulações em imagens de tatuagens, como ilustrado na Fig. 2.2, entretanto não realizou validação com imagens de tatuagens envelhecidas naturalmente.

2.2.2 Filtros espaciais

Enquanto o modelo de Eames (2011) carece de trabalho adicional para aplicação direta, encontramos exemplos de instruções e tutoriais onde uma solução mais simples e orientada ao efeito visual final, é utilizada. A passagem de um filtro de gaussiano gera uma aproximação do resultado, possibilitando ao artista ajustes para encontrar um resultado agradável, conforme pode ser visto na Figura 2.3. (LÁKIK, 2022)

Figura 2.3 – Aplicação de Blur Gaussiano de maneira a aproximar o envelhecimento da tatuagem na construção de um personagem digital.



Fonte: (LÁKIK, 2022)

2.2.3 Morfologia Matemática

Morfologia Matemática é um conjunto de teorias e técnicas para análise e processamento de imagens, analisando-as como estruturas geométricas. Seu principal componente são as operações básicas de erosão, dilatação, abertura e fechamento, embora diversas outras operações e aplicações tenham sido desenvolvidas após o desenvolvimento da área de estudo em 1964 (RONSE; NAJMAN; ETIENNE, 2011).

Enquanto inicialmente os operadores foram desenvolvidos para utilização apenas em imagens binárias, as técnicas foram estendidas para se aplicarem à imagens em tons de cinza (SERRA, 1986).

2.3 Tatuagens em Computação

Enquanto tradicionalmente a pele é simulada por uma camada albedo, a simulação da pele humana em computação gráfica pode ser realizada pela composição de camadas heterogêneas de reflectância espectral. Um modelo proposto por Donner et al. (2008) utilizou informação obtida por fotografias multi-espectrais para compor um conjunto de parâmetros capaz de representar as propriedades da pele humana em um sistema de duas camadas que simulam a derme e a epiderme. Além de simular as variações complexas que dão a pele suas características visuais, é possível utilizar esse sistema para simular tatuagens pela modificação da camada da derme com um design de alta absorção de luz,

que permite que a imagem fique visível mas dando a dimensão da profundidade do pigmento na pele. Apesar desse avanço, e pelo custo computacional, soluções utilizando mapeamento de texturas têm se mostrado satisfatórias visualmente. (LÁKIK, 2022)

Outras áreas da Computação se dedicam à pesquisa neste assunto. Por exemplo, aplicações de identificação automática de tatuagens em indivíduos, como os trabalhos de Harbert (2015) e Ngan and Grother (2015). Conforme Di and Patel (2016), tatuagens podem ser consideradas como uma característica biométrica eletiva, frequentemente contendo informação mais facilmente identificável que elementos biométricos tradicionais, como idade, gênero e raça. Com o suporte de redes neurais de aprendizado profundo, desenvolveram técnicas de identificação automática de tatuagens (DI; PATEL, 2017)

Outra área de estudo é a tentativa de prever como uma imagem digital seria representada na pele de uma pessoa que deseja realizar a tatuagem. Xu, Matkowski and Kong (2020) desenvolveram um sistema de processamento de imagem específico para o caso de tatuagens de retratos, utilizando a simulação de uma agulha de tatuagem e transferência de estilo de referências do estilo específico de tatuagens de interesse de maneira a obter imagens de tatuagens de retrato realistas.

No próximo capítulo apresentamos nossos estudos para envelhecimento de tatuagens.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo demonstraremos o sistema desenvolvido para avaliação e comparação das simulações de envelhecimento de tatuagens. O sistema foi dividido entre Pré-processamento e as Simulações de Envelhecimento propriamente ditas. Após isso, discutiremos brevemente a comparação utilizada para análise dos resultados.

O desenvolvimento deste trabalho se deu na linguagem Python, utilizando a biblioteca OpenCV (BRADSKI, 2000).

3.1 Pré-processamento

De maneira a poder realizar a comparação entre tatuagens antes e depois do envelhecimento, é necessário realizar a comparação entre imagens em condições padronizadas. Como não existe um conjunto de dados que se encaixe nessa necessidade, e as fotos encontradas para realizar a comparação são tiradas em ambientes e ângulos diferentes, precisamos realizar pré-processamento. Este pode ser dividido em duas partes: correção de perspectiva e de cor.

3.1.1 Correção de Perspectiva

Para realizar a correção de perspectiva, o primeiro passo é a identificação de *features*. Neste trabalho a identificação foi realizada pelo algoritmo SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) (LOWE, 2004), disponível na plataforma OpenCV, aplicado sobre a imagem em tons de cinza. Um exemplo da aplicação pode ser visto na Figura 3.1

Com as *features* obtidas acima, utilizamos um *matcher* de força bruta para encontrar o pareamento entre as *features* das duas imagens. Os pares então são utilizados para definir a matriz de transformação perspectiva necessária para minimizar a diferença entre as imagens. Utilizando então a matriz definida, é realizada a transformada perspectiva da imagem com a tatuagem nova de maneira a aproximar da imagem da tatuagem envelhecida, conforme pode ser visto na Figura 3.2.

Figura 3.1 – Features obtidas por SIFT da imagem da tatuagem recém feita e envelhecida.



Fonte: Entrada disponível em

<https://www.reddit.com/r/agedtattoos/comments/x3rr0m/fine_line_mountain_tattoo_5_years_healed/>

Imagens processadas pelos autores

Figura 3.2 – Imagem com perspectiva ajustada. À esquerda a tatuagem original e à direita a mesma tatuagem após 5 anos. Imagem original com resolução de 1169x1055 reduzida pelo algoritmo para encaixar com a tatuagem envelhecida de redução 751x209.



Fonte: Entrada disponível em

<https://www.reddit.com/r/agedtattoos/comments/x3rr0m/fine_line_mountain_tattoo_5_years_healed/>

Imagens processadas pelos autores

Figura 3.3 – Imagem com cor ajustada, resolução 751x209.



Fonte: Entrada disponível em
https://www.reddit.com/r/agedtattoos/comments/x3rr0m/fine_line_mountain_tattoo_5_years_healed/
 Imagens processadas pelos autores

3.1.2 Cor

Para realizar o emparelhamento de cor, utilizamos o algoritmo descrito por Reinhard et al. (2001), onde se utiliza o espaço de cor $L^*a^*b^*$ e a menor correlação entre os canais neste para escalar a média e o desvio padrão da imagem, conforme pode ser visto na Figura 3.3.

3.2 Envelhecimento

Com a imagem pré-processada, podemos então proceder com a simulação do envelhecimento e obter uma comparação com a imagem da tatuagem real envelhecida. Para tal, utilizamos o algoritmo descrito por Eames (2011), a comparação com filtros conforme descrito em LÁkik (2022), bem como a operação de dilatação.

3.2.1 Modelo baseado em dinâmica de fluídos

Conforme descrito no Cap. 2, o modelo matemático que simula a movimentação dos pigmentos na pele é dado pela Equação (2.1). Como a concentração de pigmento não é conhecida, utilizamos a intensidade da cor na equação, utilizando o preto absoluto como concentração total equivalente à 1.0, enquanto o branco absoluto com a concentração igual a 0.0. A imagem precisa ser convertida para tons de cinza para então ser processada. A

implementação do modelo matemático pode ser feita por um ciclo que opera sobre a imagem, realizando em incrementos de tempo a propagação e envelhecimento da tatuagem. As constantes utilizadas foram retiradas do artigo e seus valores podem ser visualizados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Constantes utilizadas na aplicação do algoritmo de EAMES.

<i>Constante</i>	<i>Valor</i>
D	$1,8 \times 10^{-15} m^2/s$
α	10^{-10}

A propagação foi realizada pixel a pixel, modulada pelo coeficiente de dispersão D , também aplicando o esmaecimento pela aplicação da taxa de decomposição α .

3.2.2 Filtros

Duas técnicas de filtragem foram analisadas para comparação com a técnica descrita no artigo de Eames (2011). O filtro Gaussiano foi apresentado por LÁkik (2022) como uma maneira de aproximar o resultado do envelhecimento das tatuagens, deixando que o artista, ao criar um personagem que requer uma tatuagem envelhecida, escolha e ajuste o filtro, escolhendo o resultado que deseja. É realizado pela convolução da imagem com um filtro gaussiano, que funciona como um filtro passa-baixa, atenuando informação de alta frequência.

Na implementação, foi aplicado pela funcionalidade disponibilizada pela biblioteca OpenCV, utilizando um kernel três por três e um sigma de 1.0 e sendo aplicado uma vez por ano que a tatuagem precisa envelhecer. Essas opções foram definidas por testes empíricos.

O filtro bilateral (TOMASI; MANDUCHI, 1998) foi avaliado por ser uma extensão do filtro gaussiano. Sua propriedade de manter as bordas mais bem definidas demonstra-se interessante para simular envelhecimento, que enquanto apresenta espalhamento nas bordas, mantém o contorno geral do desenho. É uma camada de complexidade a mais sobre o filtro gaussiano, adicionando a consideração da distância do valor das intensidades dos pixels ao filtro. As opções utilizadas foram similares às do filtro gaussiano, adicionando apenas o sigma da intensidade, que foi definido como 0.25, valores definidos por testes empíricos.

Ambos os filtros utilizaram as implementações disponibilizadas na biblioteca OpenCV.

3.2.3 Morfologia Matemática

Morfologia matemática é uma técnica em Processamento de Imagens que consiste num conjunto de operadores que transformam imagens de acordo com as operações de erosão, dilatação, abertura e fechamento (SERRA, 1986).

A dilatação é uma das operações básicas da morfologia matemática. O processo funciona pela união de um elemento estruturante pixel a pixel. Essa operação entra como uma alternativa que não depende do espalhamento, além de demonstrar efeitos semelhantes a algumas tatuagens que receberam retoques após o envelhecimento. Na implementação a operação foi aplicada utilizando a funcionalidade disponível na biblioteca OpenCV. O elemento estruturante selecionado foi a cruz. A aplicação da operação foi realizada uma única vez, atingindo uma distância muito maior do que o esperado para o envelhecimento, mesmo de tempos como 20 anos.

3.2.4 Validação

A avaliação dos resultados é feita inicialmente visualmente, pela comparação com o resultado esperado obtido pelas imagens de tatuagens reais envelhecidas. Além disso, também realizamos a diferença entre a imagem obtida e a esperada, de maneira a ressaltar as diferenças sutis que não conseguem ser percebidas na imagem, além de ser um passo na obtenção do valor numérico do Erro Médio Quadrático, que nos permite comparar mais objetivamente o resultado obtido.

4 RESULTADOS

Neste capítulo exibiremos e discutiremos os resultados obtidos. Primeiro, traçaremos uma comparação com os resultados do modelo de Eames (2011) para validação da implementação realizada, e então demonstraremos a comparação com exemplos reais.

Nossos testes foram realizados em uma CPU Intel Core i7-4790. A execução do algoritmo descrito por Eames (2011) leva 8,9 segundos para o envelhecimento de um ano para uma imagem de resolução 751x209. A execução dos outros métodos acontece em tempo real.

4.1 Comparação entre as técnicas

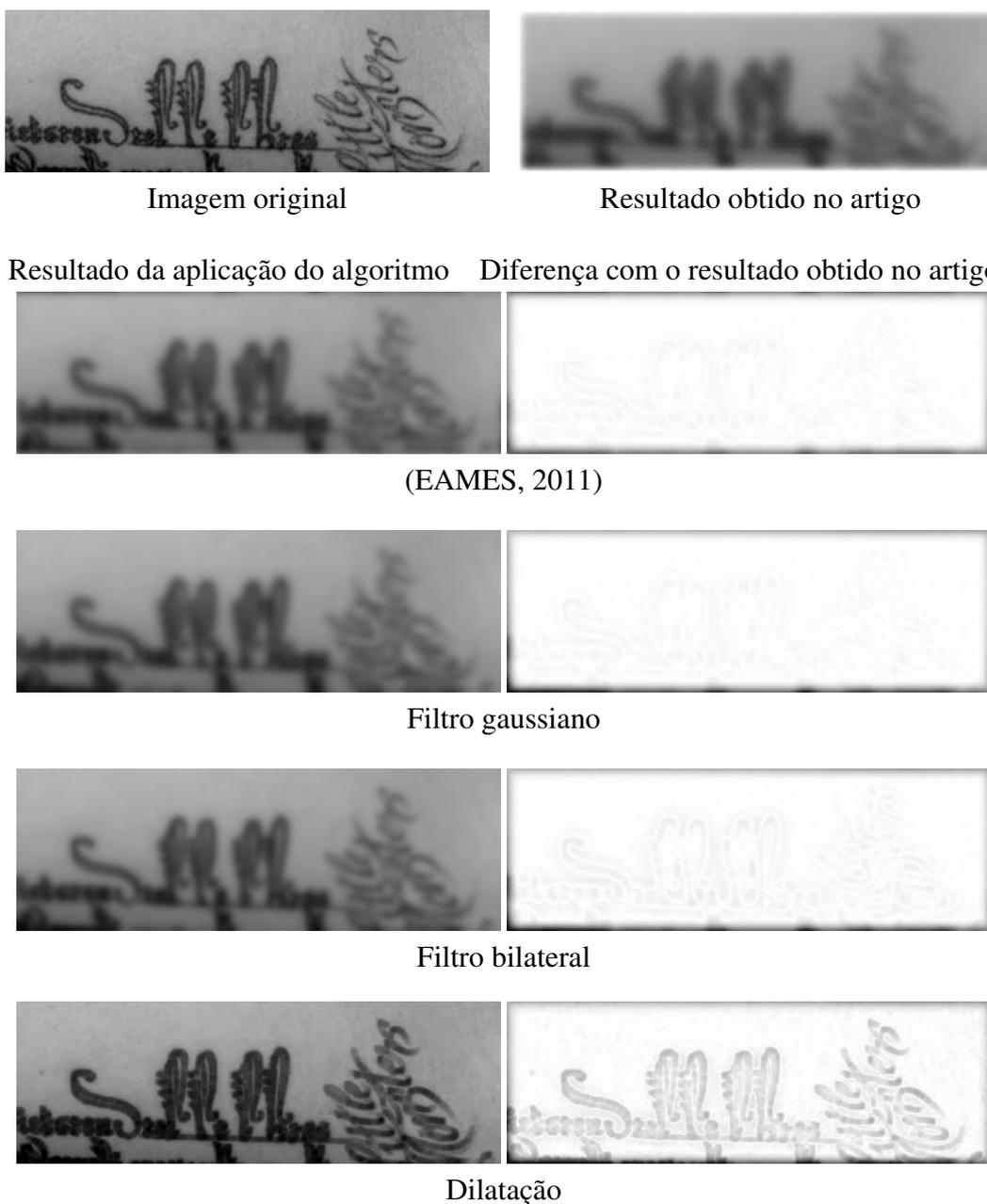
De maneira a validar as implementações, fazemos a comparação com uma imagem extraída do artigo (EAMES, 2011), conforme pode ser visto na Figura 4.1. A avaliação da imagem foi feita considerando um tempo de envelhecimento de 20 anos. A diferença de nossa implementação com o modelo de Eames exibiu os menores valores de erro, conforme pode ser visto na Tabela 4.1, o que é esperado, visto ser a mesma aplicação. O erro existente pode ser explicado pela diferença na técnica de *warping* utilizada, visto que a imagem do artigo claramente não opera sobre as bordas da imagem, enquanto nossa implementação faz utilização de condições de contorno toroidais.

Depois da técnica de Eames, o filtro gaussiano produziu o menor valor de erro, e visualmente se aproximando do resultado desejado. Já o filtro bilateral apresenta erro claro nas áreas de alta frequência. A técnica de dilatação apresentou maior erro, reforçando as bordas da tatuagem, porém sem diminuir a intensidade.

Tabela 4.1 – Valores de erro - Tatuagem complexa extraída do artigo (EAMES, 2011).

<i>Técnica</i>	<i>Erro Médio Quadrado</i>
Diferença entre a imagem da tatuagem nova e dela envelhecida	1307.76
Eames (2011)	892.28
Blur Gaussiano	991.56
Blur Bilateral	1026.93
Dilatação	1691.91

Figura 4.1 – Comparação com imagem em (EAMES, 2011), considerando 20 anos de envelhecimento.



Fonte: Entrada extraída de (EAMES, 2011), processamento pelos autores

4.2 Comparação com fotos do envelhecimento de tatuagens

A comparação com exemplos reais de envelhecimento de tatuagem trazem a validação do método proposto por Eames (2011), exibindo os menores valores de erro para nossa implementação do algoritmo proposto, conforme pode ser visto na Tabela 4.2 e visualmente na Figura 4.2. As fotografias foram realizadas com 5 anos de diferença. Mesmo com o pré-processamento realizado, a falta de padronização na maneira como as duas fotografias são feitas causam uma diferença inerente. Para validar a comparação, apresentamos também a diferença entre a imagem pré-processada da tatuagem nova e da tatuagem envelhecida.

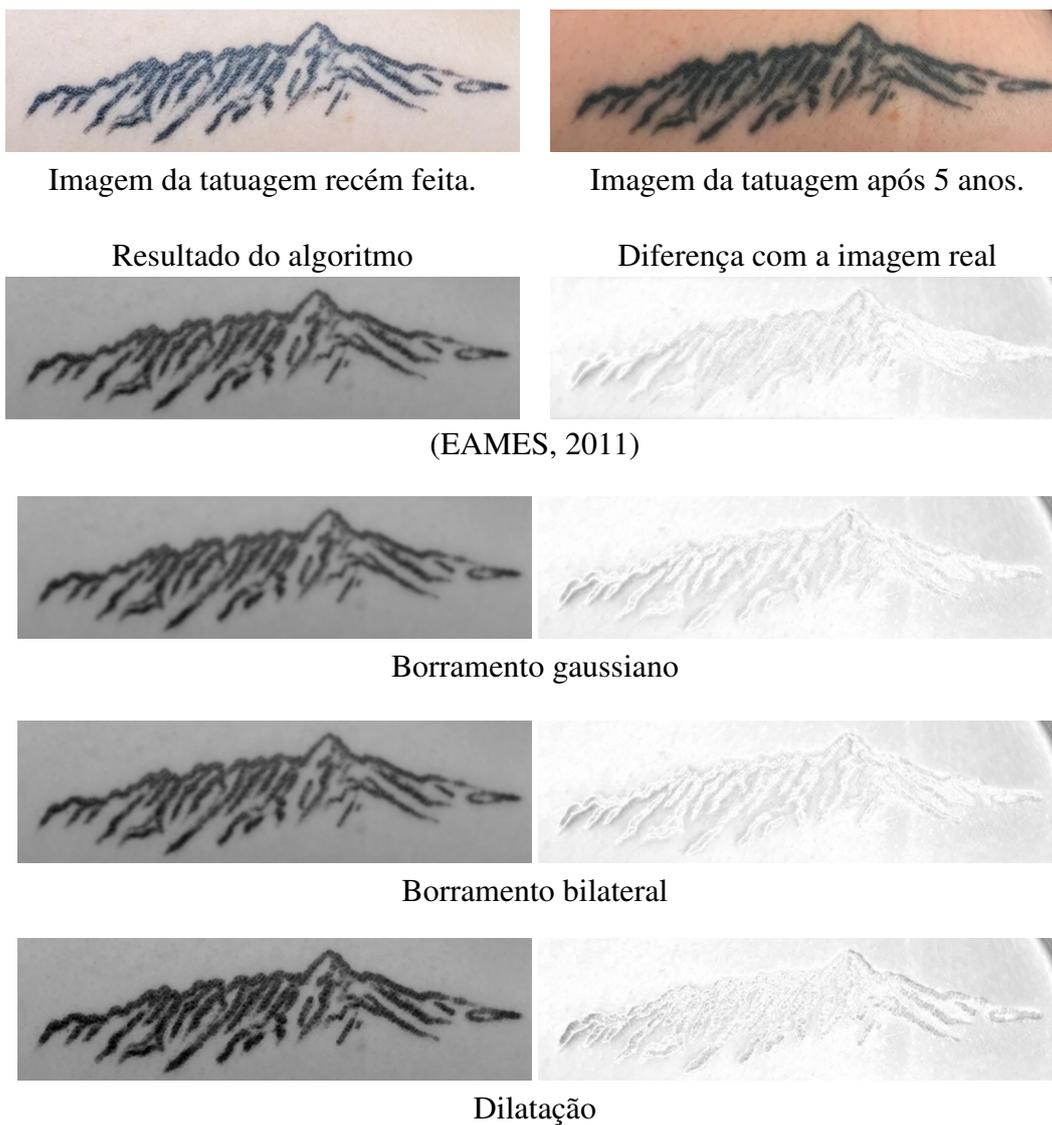
Em concordância com os resultados obtidos na simulação da tatuagem extraída do artigo, o filtro gaussiano apresentou bons valores de erro, ficando atrás apenas da técnica proposta por Eames (2011). O resultado do filtro bilateral foi levemente pior, demonstrando não ser o mais indicado para a aplicação. A dilatação exibiu resultados inferiores, ressaltando as bordas.

Tabela 4.2 – Valores de erro - Tatuagem envelhecida naturalmente - 5 anos.

<i>Técnica</i>	<i>Erro Médio Quadrado</i>
Diferença entre a imagem da tatuagem nova e dela envelhecida	409.23
Eames (2011)	319.50
Blur Gaussiano	342.18
Blur Bilateral	354.36
Dilatação	415.76

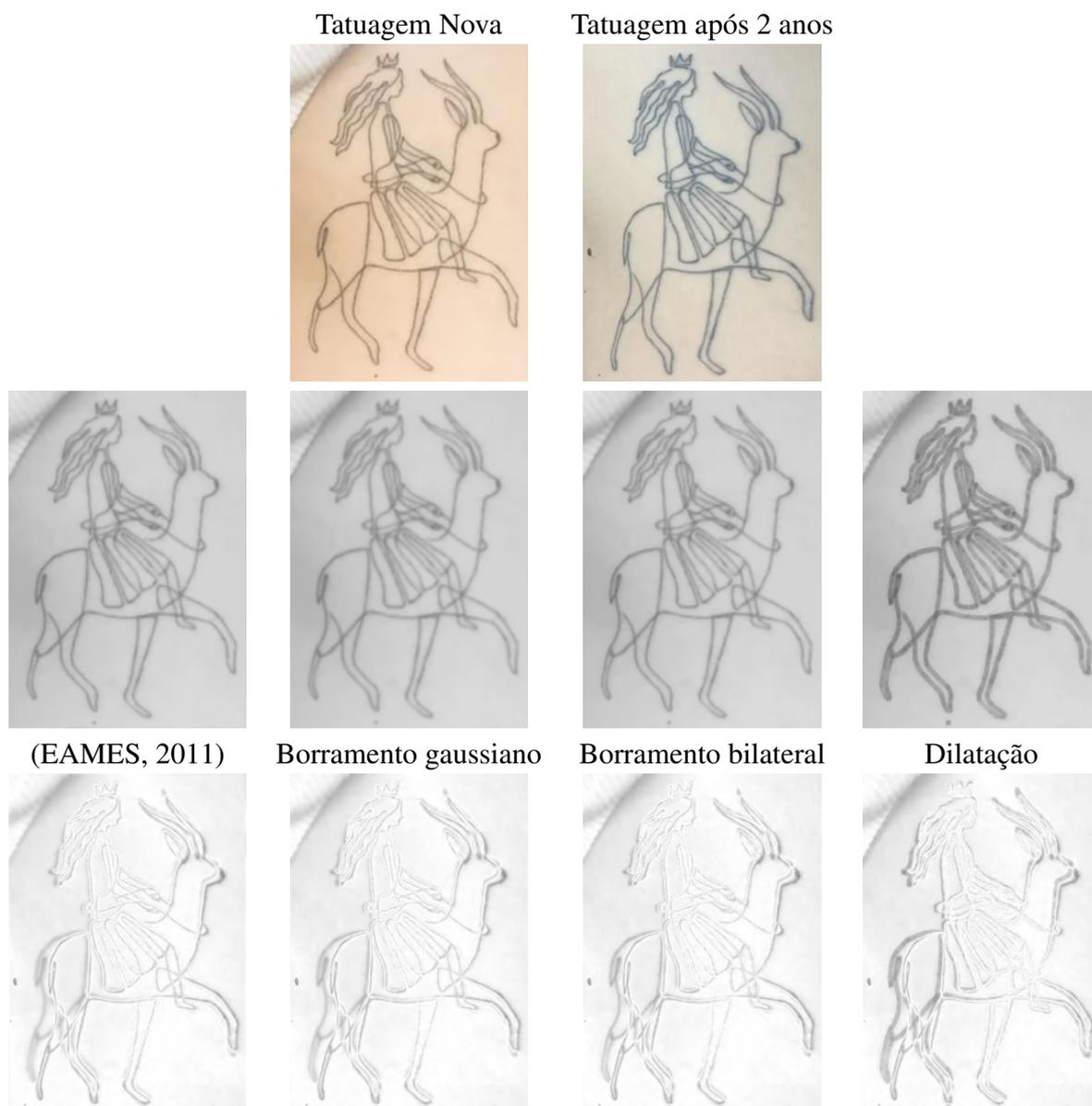
Um outro exemplo pode ser verificado na Figura 4.3. A tatuagem tem 2 anos. Os valores de erro, conforme podem ser verificados na Tabela 4.3, são consistentes com os resultados obtidos nos outros exemplos. Visualmente, no entanto, vemos a limitação do pré-processamento, onde devido a posição da tatuagem não é possível realizar um emparelhamento perfeito. Isso se deve ao fato da transformação perspectiva não ser suficiente para lidar com outras variações que acontecem com a pele tatuada ao longo do tempo entre as fotos, como mudanças na massa muscular, ganho ou perda de peso da pessoa tatuada.

Figura 4.2 – Comparação da aplicação de algoritmos de envelhecimento e comparação com foto da mesma tatuagem 5 anos depois.



Fonte: Entrada disponível em
<https://www.reddit.com/r/agedtattoos/comments/x3rr0m/fine_line_mountain_tattoo_5_years_healed/>
Imagens processadas pelos autores

Figura 4.3 – Comparação da aplicação de algoritmos de envelhecimento.



Fonte: Entrada disponível em
<https://www.reddit.com/r/agedtattoos/comments/11qcsn6/first_pic_fresh_second_pic_two_years_old/>
Imagens processadas pelos autores

Tabela 4.3 – Valores de erro - Tatuagem envelhecida naturalmente - 2 anos.

<i>Técnica</i>	<i>Erro Médio Quadrado</i>
Diferença entre a imagem da tatuagem nova e dela envelhecida	378.02
Eames (2011)	352.68
Blur Gaussiano	356.31
Blur Bilateral	359.77
Dilatação	465.54

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a comparação entre diferentes técnicas possíveis para simulação do envelhecimento de tatuagens, avaliando-as contra imagens reais de tatuagens. Pelos testes feitos e resultados obtidos, a técnica descrita por Eames (2011) produziu a simulação com o menor erro. Também verificamos que a utilização de filtro gaussiano produz resultados próximos do resultado da técnica de Eames (2011), sendo uma simplificação possível. O uso de técnicas de envelhecimento em tatuagens pode ser aplicado para melhoramento do reconhecimento de indivíduos, em aplicações forenses e de busca de pessoas.

A falta de uma base de dados padronizada do envelhecimento de tatuagens gera desafios na avaliação dos resultados durante o estudo deste assunto. A falta de trabalhos estabelecendo correlação entre a concentração de pigmento e a intensidade da cor obtida na pele também apresenta outra via pela qual o tópico poderia ser analisado.

Em trabalho futuro, buscaremos estabelecer uma correlação do uso do filtro gaussiano de maneira a padronizar seu uso para simulação de envelhecimento, além de buscar estender o modelo para outras cores de pigmentos. A maior dificuldade nessas extensões é falta de uma base de dados padronizada, principalmente no que tange a determinação de pigmentos diferentes, pois o universo de substâncias utilizadas para criação de tatuagens coloridas é amplo e apenas recentemente começou a ser regulado (BÄUMLER, 2020). Outra linha possível seria implementar o método sobre o modelo descrito por Donner et al. (2008) para simulação do envelhecimento de tatuagens em modelos tridimensionais de maneira mais fidedigna que a utilização de textura da tatuagem mapeada para a textura albedo. Mais um aprimoramento que poderia ser avaliado é a utilização de uma métrica de comparação que melhor aproxime a percepção humana, como LPIPS (Learned Perceptual Image Patch Similarity).

REFERÊNCIAS

BICCA, J. F. et al. Tattoos on 18-year-old male adolescents - characteristics and associated factors. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Sociedade Brasileira de Dermatologia, v. 88, n. An. Bras. Dermatol., 2013 88(6), p. 925–928, Nov 2013. ISSN 0365-0596. Available from Internet: <<https://doi.org/10.1590/abd1806-4841.20132192>>.

BRADSKI, G. The OpenCV Library. **Dr. Dobb's Journal of Software Tools**, 2000.

BÄUMLER, W. Chemical hazard of tattoo colorants. **La Presse Médicale**, v. 49, n. 4, p. 104046, 2020. ISSN 0755-4982. Tattoos. Available from Internet: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0755498220300348>>.

CUYPER, C. D.; D'HOLLANDER, D. Materials used in body art. In: _____. **Dermatologic Complications with Body Art**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 13–28. ISBN 978-3-642-03292-9. Available from Internet: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03292-9_2>.

DI, X.; PATEL, V. M. Deep tattoo recognition. In: **Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 51–58.

DI, X.; PATEL, V. M. Deep learning for tattoo recognition. **Deep Learning for Biometrics**, Springer, p. 241–256, 2017.

DONNER, C. et al. A layered, heterogeneous reflectance model for acquiring and rendering human skin. **ACM transactions on graphics (TOG)**, ACM New York, NY, USA, v. 27, n. 5, p. 1–12, 2008.

EAMES, I. Effect of aging on tattoos. **Mathematics Today**, v. 47, n. 2, p. 90–92, 2011.

ENGEL, E. et al. Tattooing of skin results in transportation and light-induced decomposition of tattoo pigments – a first quantification in vivo using a mouse model. **Experimental Dermatology**, v. 19, n. 1, p. 54–60, 2010. Available from Internet: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0625.2009.00925.x>>.

FUJITA, H. et al. The uptake and long-term storage of india ink particles and latex beads by fibroblasts in the dermis and subcutis of mice, with special regard to the non-inflammatory defense reaction by fibroblasts. **Arch. Histol. Cytol.**, International Society of Histology & Cytology, v. 51, n. 3, p. 285–294, jul. 1988.

HARBERT, T. Fbi wants better automated image analysis for tattoos [news]. **IEEE Spectrum**, IEEE, v. 52, n. 9, p. 13–16, 2015.

HAWN, A. **This 5,300-year-old mummy revealed the history behind tattoos for healing and religion**. Cable News Network, 2021. Available from Internet: <<https://edition.cnn.com/2021/10/18/world/mummy-tattoos-healing-religion-partner-scen/index.html>>.

KLUGER, N. Epidemiology of tattoos in industrialized countries. **Curr. Probl. Dermatol.**, v. 48, p. 6–20, mar. 2015.

KLUGER, N.; SEITÉ, S.; TAIEB, C. The prevalence of tattooing and motivations in five major countries over the world. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 33, n. 12, p. e484–e486, 2019. Available from Internet: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jdv.15808>>.

KRUTAK, L. The cultural heritage of tattooing: a brief history. **Curr. Probl. Dermatol.**, v. 48, p. 1–5, mar. 2015.

LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International journal of computer vision**, Springer, v. 60, p. 91–110, 2004.

LÁKIK, L. **Customizing MetaHuman Textures | Unreal Engine**. Epic Games, 2022. Available from Internet: <<https://dev.epicgames.com/community/learning/talks-and-demos/DqK/customizing-metahuman-textures-unreal-engine>>.

NGAN, M.; GROTH, P. Tattoo recognition technology-challenge (tatt-c): an open tattoo database for developing tattoo recognition research. In: IEEE. **IEEE International Conference on Identity, Security and Behavior Analysis (ISBA 2015)**. [S.l.], 2015. p. 1–6.

REINHARD, E. et al. Color transfer between images. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 21, n. 5, p. 34–41, 2001.

RONSE, C.; NAJMAN, L.; ETIENNE, D. **Mathematical morphology - 40 years on: Proceedings of the 7th International Symposium on Mathematical Morphology, April 18-20, 2005**. [S.l.]: Springer, 2011.

SERRA, J. Introduction to mathematical morphology. **Computer vision, graphics, and image processing**, Academic press, v. 35, n. 3, p. 283–305, 1986.

TOMASI, C.; MANDUCHI, R. Bilateral filtering for gray and color images. In: IEEE. **Sixth international conference on computer vision (IEEE Cat. No. 98CH36271)**. [S.l.], 1998. p. 839–846.

XU, X.; MATKOWSKI, W. M.; KONG, A. W. K. A portrait photo-to-tattoo transform based on digital tattooing. **Multimedia Tools and Applications**, Springer, v. 79, p. 24367–24392, 2020.