

Mateus Barros Frota de Carvalho

Plataforma de Avaliação Automatizada do
Aprendizado de Habilidade Motora

São Luís

2018

Mateus Barros Frota de Carvalho

Plataforma de Avaliação Automatizada do Aprendizado de Habilidade Motora

Monografia apresentada a Coordenação do Curso de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação.

Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Coordenação de Engenharia da Computação

Orientador: Prof. Dr. Paulo Rogério de Almeida Ribeiro

São Luís
2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Barros Frota de Carvalho, Mateus.

Plataforma de Avaliação Automatizada do Aprendizado de Habilidade Motor / Mateus Barros Frota de Carvalho. - 2018.

41 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Paulo Rogério de Almeida Ribeiro.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, Universidade Federal do Maranhão, Laboratório de informática 3 - PRECAN, 2018.

1. Acurácia Motora. 2. Automático. 3. Avaliação de Precisão. 4. Habilidade Motor. 5. Tarefa de traçado. I. Rogério de Almeida Ribeiro, Prof. Dr. Paulo. II. Título.

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Barros Frota de Carvalho, Mateus.

Plataforma de Avaliação Automatizada do Aprendizado de
Habilidade Motor / Mateus Barros Frota de Carvalho. -
2018.

41 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Paulo Rogério de Almeida
Ribeiro.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia da
Computação, Universidade Federal do Maranhão, Laboratório
de informática 3 - PRECAN, 2018.

1. Acurácia Motora. 2. Automático. 3. Avaliação de
Precisão. 4. Habilidade Motor. 5. Tarefa de traçado. I.
Rogério de Almeida Ribeiro, Prof. Dr. Paulo. II. Título.

Este trabalho é dedicado principalmente a minha mãe, Silvanira de Jesus Barros e aos amigos que sempre me apoiaram e se fizeram presentes ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a minha família, amigos e aos nossos professores.

*“A alegria está na luta,
na tentativa,
no sofrimento envolvido
e não na vitória propriamente dita.”
- Mahatma Gandhi*

RESUMO

Na literatura técnicas de processamento de imagens têm sido aplicadas amplamente para diversas finalidades. A aplicação destas técnicas na área da saúde tem gerado resultados promissores. Atualmente, a avaliação de atividades motoras tem sido feita de forma manual e subjetiva, desta forma, impossibilita a padronização dos resultados. Este projeto vem com o objetivo de produzir uma ferramenta que avalie de forma padronizada o traçado de um indivíduo através de uma tarefa de traçado. Assim sendo, contribuirá para análise do treinamento motor com foco em crianças, indivíduos os quais estão aprendendo a escrever ou mesmo pessoas acometidas por doenças neurodegenerativas, as quais por algum motivo perderam as funções motoras e precisam reaprender a escrever. Ao longo do documento, discute-se a relação entre o tamanho do *kernel* e o rigor da avaliação de precisão, bem como a utilização de diferentes tipos de pré-processamento da imagem. Mostra-se a relação inversamente proporcional entre o tamanho do *kernel* e o rigor de avaliação do erro, isto é, quanto maior o *kernel*, menor o rigor de avaliação da precisão do traçado. Os resultados obtidos confirmam a hipótese que o *kernel* influencia no rigor da avaliação. Os diferentes tipos de pré-processamento, tiveram resultados semelhantes, desta forma, é possível usar quaisquer um para esta tarefa. A principal contribuição deste trabalho é a criação de uma ferramenta que possibilita a avaliação da precisão do traçado de forma automática e padronizada. Como trabalhos futuros propõe-se aplicar esta metodologia de avaliação em outras tarefas de traçado.

Palavras-chave: Habilidade Motor. Automático. Acurácia Motora. Avaliação de Precisão. Tracing Task. Tarefa de traçado.

ABSTRACT

The state of art of image processing has been applied for several purposes. In Health Science, this techniques has generated promising results. Currently, the evaluation of motor skill has been made by manual and subjective way, on this way, the standardization is hampered. This project aims to provide a tool that propose an automatic standard evaluation for skill accuracy through a Tracing Task. Thus, it might aid motor training for children or a person who is learning to write or even people with neuro-diseases, whom lost motor skills and need to learn again to write. A discussion between the kernel size - an image that represents the written word for the user of the system -and the precision, as well as different pre-processing digital images techniques. This work shows the inverse proportionality relationship between kernel size and tracing task accuracy assessment. The main contribution of this work is the development of a tool to analyze the precision of a tracing task tool.

Keywords: Tracing Task. Skill Learning. Skill Accuracy. Precision Evaluation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de tarefa de traçado	17
Figura 2 – Exemplo de aplicação da subtração de imagens.	19
Figura 3 – Segmentação de uma planta de milho através de limiarização.	20
Figura 4 – Cálculo da média local utilizando processamento por vizinhança. - Imagens no tamanho 790x686 pixels.	21
Figura 5 – Algoritmo convolução.	22
Figura 6 – Exemplos de elementos estruturantes.	23
Figura 7 – Exemplo da aplicação da operação morfológica erosão, na esquerda a imagem original e na direita a imagem erodida com <i>kernel</i> 5x5.	24
Figura 8 – Exemplo da aplicação da operação morfológica dilatação na esquerda a imagem original e na direita a imagem dilatada com <i>kernel</i> 5x5.	25
Figura 9 – O participante deve movimentar o cursor na tela passando a caneta sob a mesa digitalizadora até que esteja pronto para escrever, sem encostar. O objetivo, é traçar a palavra disposta na tela com a caneta, para isso deve-se encostar a caneta na superfície da mesa digitalizadora e arrastar de forma semelhante a escrever em um papel.	27
Figura 10 – Tela de entrada.	27
Figura 11 – Exemplo de palavra de entrada.	28
Figura 12 – Exemplos de traçados adquiridos durante os testes.	28
Figura 13 – Exemplo da aplicação de um filtro gaussiano 50x50 com desvio padrão de 12 pixels. Na esquerda a imagem original e na direita a imagem pós processamento.	29
Figura 14 – Exemplo da aplicação de limiarização na imagem pós aplicação do filtro. Na esquerda a imagem processada utilizando filtro gaussiano 50x50 e na direita a imagem limiarizada.	29
Figura 15 – Exemplo da palavra "teste" sem aplicação de processamento. Resolução 1366x768p.	31

Figura 16	–Exemplo da palavra "teste" pós aplicação de filtro gaussiano de 50x50 em uma imagem de dimensões 1366x768p.	32
Figura 17	–Exemplo da palavra "teste" pós aplicação de filtro gaussiano com <i>kernel</i> de 50x50 limiarizada. Dimensões da imagem: 1366x768p.	32
Figura 18	–Exemplo da palavra "teste" pós aplicação de filtro da média com <i>kernel</i> 50x50 limiarizada, dimensões da imagem: 1366x768p.	33
Figura 19	–Exemplo da palavra "teste" pós aplicação da operação morfológica de dilatação com <i>kernel</i> elíptico de 50x50, dimensões da imagem: 1366x768p.	33
Figura 20	–Comparativo entre diferentes tipos de processamentos e diferentes tamanhos de <i>kernels</i> em uma imagem de dimensões 1366x768p.	34
Figura 21	–Gráfico ilustrando a relação entre os diferentes tipos de pré-processamento e variação do tamanho do <i>kernel</i> para a Figura 15.	35
Figura 22	–Exemplo da palavra "teste" pós aplicação da operação morfológica de dilatação com <i>kernel</i> elíptico de 10x10, dimensões da imagem: 1366x768p.	35
Figura 23	–Gráfico ilustrando a relação entre os diferentes tipos de pré-processamento e variação do tamanho do <i>kernel</i> para a Figura 22.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TDCS *Transcranial Direct Current Stimulation*

TRNS *Transcranial Random Noise Stimulation*

RMSE *Raiz do Erro Médio Quadrático*

LPI *Linha por Polegada*

PDI *Processamento Digital de Imagens*

EMQ *Erro Médio Quadrático*

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Estrutura do trabalho	15
2	Revisão de Literatura	16
2.1	Aprendizado Motor e Reabilitação	16
2.2	Tracing Task	17
2.3	Processamento Digital de Imagens	17
2.3.1	Imagem	18
2.3.2	Operações espaciais	18
2.3.2.1	Operações ponto a ponto	18
2.3.2.2	Operações por vizinhança	20
2.3.3	Filtros	21
2.3.3.1	Suavização de Imagens	22
2.3.4	Operações morfológicas	23
2.3.4.1	Erosão	23
2.3.4.2	Dilatação	24
2.3.5	Estatística	25
2.3.5.1	Acurácia	25
2.3.5.2	Erro Médio Quadrático	25
3	Metodologia	26
3.1	Protótipo Experimental	26
3.1.0.1	Apresentação do protótipo	26
3.1.0.2	Experimento	28
3.1.1	Processamento de Imagem	29
3.1.2	Setup	30
4	Resultados e Discussão	31
5	Considerações Finais	37
5.1	Trabalhos Futuros	37

Referências Bibliográficas 39

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A popularização dos computadores disseminou suas funcionalidades e trouxe a possibilidade de aplicações em praticamente todos os aspectos dos empreendimentos humanos. A medicina não foi uma exceção, computadores ajudam médicos e pesquisadores a descobrir, testar e aplicar técnicas médicas em praticamente todos os hospitais do mundo. Além disso, a informática fornece uma infra-estrutura para permitir que ideias e conhecimentos médicos sejam arquivados e compartilhados globalmente com outros profissionais do mesmo nicho.

Paralelamente, com objetivo de colaborar com especialistas médicos em sua análise, surgiram os sistemas de diagnóstico informatizados. Estes sistemas, geralmente funcionam acoplados a equipamentos médicos e têm a finalidade de auxiliar no diagnóstico dos pacientes. Aplicações com diversas finalidades têm sido desenvolvidas por vários grupos de pesquisas, visando contribuir no processo de investigação da anamnese médica e desta forma contribuir para a detecção precoce de doenças.

Os sistemas de diagnóstico fornecem opiniões a partir de informações extraídas de diversas fontes de dados, dentre elas, podemos citar as imagens médicas, resultado de processos de radiografia, ultra-sonografia, ressonância magnética nuclear dentre outros. A utilização de processamento de imagens, inteligência artificial, reconhecimento de padrões e outras técnicas computacionais, são utilizadas com o objetivo de melhorar tais imagens e extrair delas informações úteis ao diagnóstico. (NUNES, 2006)

A proposta deste projeto é desenvolver uma plataforma de aprendizado motor automatizada. Esta plataforma proporciona a análise da precisão de traçados, designa-se por traçado o ato de cobrir a palavra. Desta forma possibilitará o desenvolvimento de um sistema de diagnóstico, o qual terá por objetivo auxiliar na tomada de decisão médica, no que diz respeito ao tratamento de pacientes com lesões neuro-motoras.

1.1 Justificativa

Os seres humanos em geral, são extremamente dependentes de suas habilidades motoras para interagir com o mundo. Algumas pessoas infelizmente, são acometidas por doenças neurológicas e sofrem danos os quais comprometem suas habilidades motoras.

Atualmente são utilizados métodos fisioterápicos para tratar estas pessoas e oferecer melhores condições de vida. Porém, um problema que por vezes ocorre ao submeter-se a um tratamento, é a incerteza em relação ao tempo de duração da tratamento. Hoje, a estimativa é feita através de experiências passadas dos profissionais da saúde. Uma alternativa proposta em NUNES (2006), é a utilização de imagens com objetivo de auxiliar na composição de diagnósticos de anomalias e também fornecer material para acompanhamento de terapias.

Neste trabalho, propõe-se uma ferramenta que através da utilização de processamento de imagens visa extrair a precisão dos traçados obtidos e desta forma, auxiliar na composição de diagnósticos médicos no que tange a estimativa do tempo ou número de sessões do tratamento.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2, descreve-se a literatura atual a respeito do tema proposto; na Seção 3, mostra-se a metodologia que será utilizada para realização dos experimentos; na Seção 4, apresenta-se os resultados. Por fim, na Seção 5 são feitas as considerações finais.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aprendizado Motor e Reabilitação

Segundo os estudos de Kitago e Krakauer (2013) e Korman et al. (2003), há uma relação direta entre a prática regular de exercício e a progressão da habilidade motora. Desta forma, um indivíduo submetido a uma tarefa repetidas vezes, tende a melhorar seu desempenho. Isto é, quanto maior o número de repetições de uma tarefa, melhor será a sua performance nesta.

Através do trabalho de Soares e Peyré-Tartaruga (2010), define-se que o exercício físico regular é fundamental para a recuperação de indivíduos com debilitação motora, como por exemplo a Doença de Parkinson. O exercício físico tem papel de extrema importância para amenizar ou retardar o aparecimento dos sintomas em indivíduos com tendências a desenvolver esta enfermidade.

Consequentemente, é conveniente prescrever tratamento fisioterápico desde as fases iniciais destes tipos de enfermidades, destacando que cada paciente deve ser avaliado e tratado individualmente, com ênfase na orientação e reabilitação de acordo com as alterações funcionais (BOELEN, 2007).

Neste contexto, os principais objetivos da fisioterapia são melhorar as limitações físicas através da repetição de tarefas que visam desenvolver a habilidade motora e favorecer o desempenho e a capacidade de exercer força, melhorar a mobilidade e resistência dos acometidos. (MANCINI et al., 2008).

Sendo assim, uma forma de desenvolver a habilidade motora e ao mesmo tempo obter parâmetros concretos que permitam avaliar de forma objetiva a progressão de melhora dos acometidos, é através de "Tracing Task".

2.2 Tracing Task

Um exemplo de Tracing task ou tarefa de traçado é a escrita, por exemplo a Figura 1. Esta tarefa em especial, não só desenvolve uma habilidade motora, como é meio privilegiado de acesso e registro de informações. Após o contato de um ser humano com o mundo alfabetizado possibilita o acesso a um universo de informações e possibilidades (LEVIN, 2002).



Figura 1: Exemplo de tarefa de traçado

No trabalho de Pinheiro (2015), é feita uma discussão em relação a validação e a confiabilidade do teste "*Movement assessment battery for children*", este teste é uma ferramenta utilizada para detectar dificuldades motoras leves a moderadas em crianças em desenvolvimento. A avaliação dos testes é feita através da análise dos traçados em *templates* pré-determinados de acordo com a faixa etária do participante e a aferição do tempo gasto para executar a tarefa.

Em Waterman et al. (2017), utiliza-se um método de avaliação motora que analisa a coordenação motora das mãos esquerda e direita e estabelecer uma relação entre a mão dominante, isto é, a mão de escrita mais precisa com a cultura a qual o indivíduo pertence.

Já no trabalho de Prichard et al. (2014), é feita uma aquisição de traçado para comparação da efetividade do tratamento entre dois estímulos elétricos cerebrais, são eles o tDCS (*Transcranial Direct Current Stimulation*) e o tRNS (*Transcranial Random Noise Stimulation*).

2.3 Processamento Digital de Imagens

A maioria das vezes ao se trabalhar com imagens, é necessário fazer algum tipo de pré-processamento, seja para remoção de ruídos ou para o realce de alguma característica importante. Por definição, entende-se por Processamento Digital de Imagens (PDI) a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo

sejam imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (CÂMARA et al., 1996).

2.3.1 Imagem

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional, $f(x, y)$, em que x e y são coordenadas espaciais (plano), e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x, y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto, especificamente em imagens em tons de cinza. Quando x, y e os valores de intensidade de f são quantidades finitas e discretas, chamamos de imagem digital. A imagem digital é composta de um número finito de elementos, cada um com localização e valor específicos, comumente chamados de pixels (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Uma imagem pode ser contínua em relação às coordenadas x e y e também em relação à amplitude (valor do pixel), porém, para a criação de uma imagem digital, precisamos converter os dados contínuos que foram captados para o formato digital. Isso envolve dois processos: amostragem e quantização.

2.3.2 Operações espaciais

São ditas espaciais as operações que são realizadas diretamente sobre os pixels de uma determinada imagem. Classificamos as operações espaciais em três categorias amplas: (1) operações ponto a ponto; (2) operações por vizinhança; e (3) transformações geométricas. (GONZALEZ; WOODS, 2010)

Esta seção trata apenas das operações ponto a ponto e operações por vizinhança.

2.3.2.1 Operações ponto a ponto

É o tipo de operação mais simples realizada em imagens digitais, consiste em alterar os valores de seus pixels individualmente, com base em sua intensidade. Um exemplo deste tipo de operação é obter o negativo de uma imagem. Nesta operação o valor de cada pixel é subtraído do valor máximo de intensidade e o resultado é armazenado no pixel correspondente.

Subtração

A subtração entre imagens, tem como objetivo realçar pequenas diferenças espectrais. Assim como a adição, também é uma operação linear, e pode gerar resultados fora do intervalo 0-255, necessitando de um tratamento de contraste para que seja reproduzida em

um monitor comum. As aplicações da subtração estão relacionadas a realce de diferenças e detecção de padrões.

Alguns exemplos são identificação de diferentes tipos de cobertura vegetal, utilizando os comprimentos de onda relativos próximo ao infravermelho, identificação de minerais formados por óxidos de ferro, que exibem alta reflectância no vermelho e baixa reflectância no azul (CROSTA, 1999).

Na Figura 2 pode-se observar uma aplicação da operação de subtração para realce de diferença. Na Figura 2a pode-se observar a imagem padrão de uma câmera, a qual ilustra apenas o ambiente, na Figura 2b, observa-se um indivíduo na imagem. Na Figura 2c está ilustrado o resultado da subtração entre as Figuras 2a e 2b, é possível detectar claramente a diferença entre as duas imagens.



Figura 2: Exemplo de aplicação da subtração de imagens.

Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2010)

Limiarização

Esta operação é relativamente simples, funciona da seguinte forma, se o valor do pixel for maior que um valor limite, ele é atribuído a um valor (pode ser branco), caso contrário, é atribuído outro valor (pode ser preto). Para isso é necessário uma imagem de origem, que deve ser uma imagem em tons de cinza e o valor limite usado para classificar os valores de pixel.



(a) Imagem da planta em escala de cinza. (b) Resultado da segmentação da planta.

Figura 3: Segmentação de uma planta de milho através de limiarização.

Fonte: (JUNIOR et al., 2003)

2.3.2.2 Operações por vizinhança

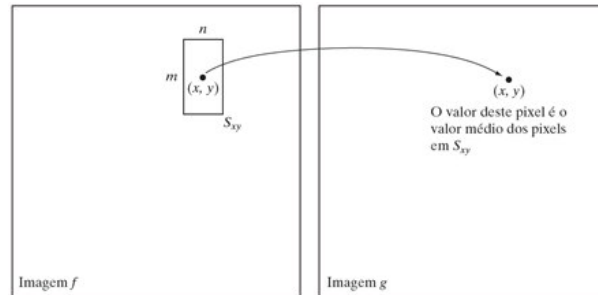
Seja $S(x, y)$ o conjunto de coordenadas de uma vizinhança centrada em um ponto arbitrário (x, y) em uma imagem f . O processamento por vizinhança gera um pixel correspondente nas mesmas coordenadas em uma imagem de saída (processada), g , de forma que o valor desse pixel é determinado por uma operação específica envolvendo os pixels da imagem de entrada com coordenadas em $S(x, y)$.

Por exemplo, suponha que uma operação especificada consista em calcular o valor médio dos pixels, em uma vizinhança retangular de tamanho $m \times n$ centrada em (x, y) .

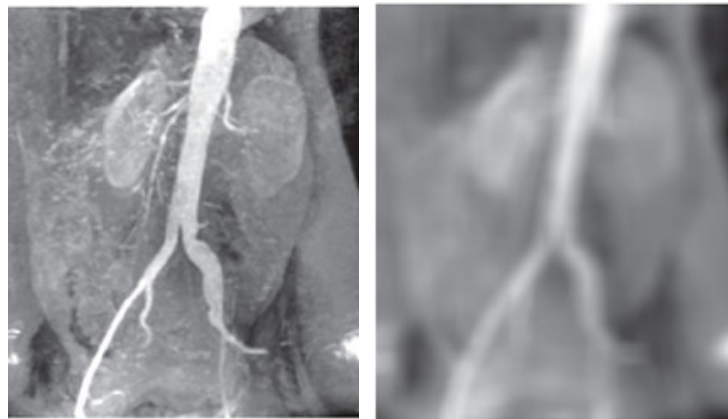
$$g(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_r^m \sum_c^n f(r, c) \quad (2.1)$$

onde r e c são as coordenadas de linha e coluna dos pixels que pertencem ao conjunto $S(x, y)$. A imagem g é criada variando-se as coordenadas (x, y) , de forma que o centro da vizinhança se mova de pixel a pixel na imagem f repetindo a operação por vizinhança em cada nova posição. (GONZALEZ; WOODS, 2010)

Por exemplo na Figura 4 está ilustrada a transformação expressa pela Equação 2.1. Utilizou-se a vizinhança $m=n=41$ na Figura 4b obtendo-se a Figura 4c. Como pode-se observar o efeito final é um borramento local na imagem original. Esse tipo de processo pode ser utilizado para eliminar detalhes e representar como “borrões” as regiões maiores de uma imagem.



(a) Ilustração do cálculo do valor médio para uma vizinhança retangular.



(b) Angiograma da aorta

(c) Resultado da utilização da Equação 2.1 com $m=n=41$.

Figura 4: Cálculo da média local utilizando processamento por vizinhança. - Imagens no tamanho 790x686 pixels.

Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2010)

2.3.3 Filtros

Conforme comentado na seção anterior, a manipulação de imagens digitais pode ser efetuada no domínio espacial. O Domínio espacial refere-se ao conjunto de pixels que compõem a imagem. As técnicas de processamento de imagem que trabalham neste domínio são aplicadas diretamente nos pixels da imagem (NUNES, 2006).

Um *template*, também chamado de *kernel*, pode ser utilizado como máscara para a realização de operações na vizinhança de um pixel. Na prática, é uma matriz cujo elemento central é posicionado no pixel de interesse. Os elementos da vizinhança, incluindo o pixel em questão, são multiplicados pelos valores indicados nas posições correspondentes da matriz. A soma dos resultados obtidos substitui o valor do pixel de interesse na imagem resultante. Genericamente, uma máscara de tamanho 3 x 3 pode ser representada da forma indicada em 2.2. (GONZALEZ; WOODS, 2010)

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Considerando $w_i, i=1,\dots,9$ os coeficientes da máscara em questão e $x_i, i=1,\dots,9$ os valores dos pixels sob a máscara, o resultado que será atribuído ao pixel central será: $w_1 * x_1 + w_2 * x_2 + \dots + w_9 * x_9$.

Na Figura 5 está ilustrado um código genérico do processo de convolução de uma imagem com a máscara.

```

defina tamanho_template
  para linha = 1 até quantidade_linhas
    para coluna = 1 até quantidade_colunas
      Soma = 0
      para indice_linha = linha - tamanho_template/2 até linha + tamanho_template/2
        linha + tamanho_template/2
      para indice_coluna = coluna - tamanho_template até coluna + tamanho_template/2
        Soma = Soma + pixel(indice_linha, indice_coluna)
      fim para
    fim para
  pixel(indice_linha, indice_coluna) = soma/tamanho_template2
fim para

```

Figura 5: Algoritmo convolução.

Fonte: (NUNES, 2006)

2.3.3.1 Suavização de Imagens

Os filtros de suavização são utilizados para redução de ruído, geralmente geram um borrimento na imagem. O borrimento pode ser aplicado em tarefas de pré-processamento, como remoção de pequenos detalhes da imagem antes da extração de objetos (grandes) e conexão de pequenas discontinuidades em linhas ou curvas. A redução de ruído pode ser obtida pelo borrimento com um filtro linear e também pela filtragem não linear (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Filtro da média

A média da vizinhança é uma técnica que consiste em gerar uma imagem na qual o nível de cinza de cada pixel é obtido através da média dos valores de cinza dos pixels de uma vizinhança pré-definida. É uma técnica muito empregada para eliminação de ruídos na imagem, apresentando, porém, borrimento na imagem final obtida e conseqüente perda na definição de bordas (NUNES, 2006). Uma forma de implementá-lo é utilizando o algoritmo ilustrado na Figura 5 em conjunto com um *template* 3 x 3, como por exemplo o ilustrado em 2.3.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Filtro Gaussiano

Em algumas aplicações, temos uma função contínua de duas variáveis, e o objetivo é obter uma máscara de filtragem espacial com base nessa função. Por exemplo, uma função gaussiana de duas variáveis tem a forma básica:

$$h(x, y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.4)$$

onde σ é o desvio padrão, consideramos que as coordenadas x e y sejam números inteiros. Para gerar uma máscara 3×3 a partir dessa função, fazemos uma amostragem ao redor de seu centro. Assim, $w_1 = h(-1, -1)$, $w_2 = h(-1, 0)$, $w_3 = h(-1, 1)$, $w_4 = h(0, -1)$, $w_5 = h(0, 0)$, $w_6 = h(0, 1)$, $w_7 = h(1, -1)$, $w_8 = h(1, 0)$, $w_9 = h(1, 1)$. Uma máscara $m \times n$ é gerada de forma similar. Ressalta-se que uma função gaussiana bidimensional tem o formato de um sino e que o desvio padrão controla o grau de abertura do sino (GONZALEZ; WOODS, 2010).

2.3.4 Operações morfológicas

Operações morfológicas são operações simples baseadas no formato da imagem. São normalmente executados em imagens binárias e para funcionar precisam de duas entradas, a primeira é imagem original e a segunda é um elemento estruturante (ilustrado na Figura 6), também chamado de *kernel* que decide a natureza da operação. Os dois operadores morfológicos básicos são a erosão e dilatação (ITSEEZ, 2014).

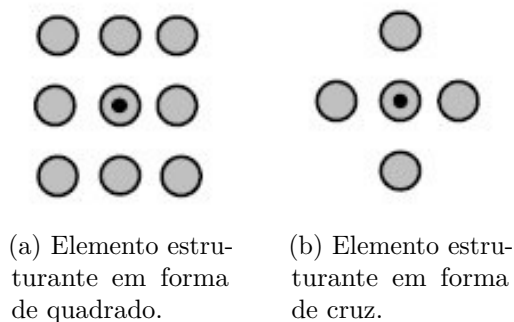


Figura 6: Exemplos de elementos estruturantes.

Fonte: (MEDEIROS; SILVA; NOGUEIRA, 2002)

2.3.4.1 Erosão

A operação morfológica de erosão funciona como a erosão do solo, ela elimina os limites do objeto em primeiro plano. Desta forma, o *kernel* "desliza" pela imagem, semelhante a convolução. Um pixel da imagem original (1 ou 0) será considerado 1 somente

se todos os pixels sob o *kernel* forem 1, caso contrário ele será erodido, ou seja, transformado em 0. (ITSEEZ, 2014).

Tendo isto em mente, o que ocorre é, todos os pixels próximos ao limite serão descartados, dependendo do tamanho do *kernel*. Assim a espessura ou tamanho do objeto é diminuída, conforme ilustrado na Figura 7. Esta técnica é útil para remover pequenos ruídos ou destacar dois objetos conectados

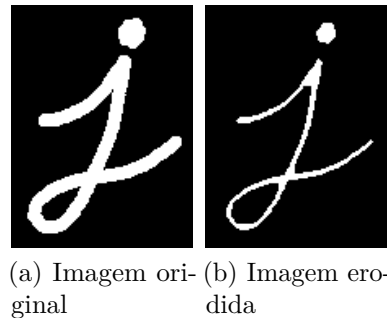


Figura 7: Exemplo da aplicação da operação morfológica erosão, na esquerda a imagem original e na direita a imagem erodida com *kernel* 5x5.

Fonte: (ITSEEZ, 2014)

2.3.4.2 Dilatação

A dilatação representa o oposto da erosão, isto é, se ao deslizar o *kernel* entre a imagem pelo menos um dos pixels for 1, então, todos os pixels em volta tornam-se 1, desta forma, a imagem aumenta, conforme ilustrado na Figura 8. Normalmente, em casos de remoção de ruído, utiliza-se a erosão seguida de uma dilatação, pois a erosão remove os ruídos. Entretanto, ao mesmo tempo "afina" os objetos da imagem, desta forma, utilizando a dilatação, retorna-se ao tamanho original, como o ruído foi eliminado pela erosão, ao dilatar apenas o objeto aumenta. Outra aplicação útil é unir partes desconectadas de objetos (ITSEEZ, 2014).

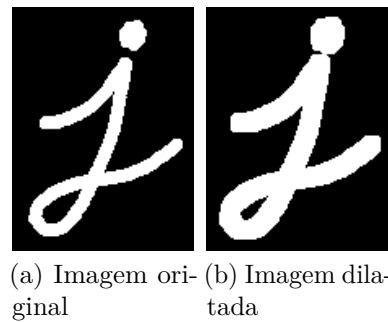


Figura 8: Exemplo da aplicação da operação morfológica dilatação na esquerda a imagem original e na direita a imagem dilatada com *kernel* 5x5.

Fonte: (ITSEEZ, 2014)

2.3.5 Estatística

2.3.5.1 Acurácia

Teoricamente, o valor verdadeiro de uma grandeza é um conceito abstrato. Na prática, no entanto, pode-se dispor de uma grandeza com qualidade superior a outra. Acurácia é o termo utilizado para indicar a qualidade de uma grandeza observada ou parâmetro estimado. Uma medida de acurácia proposta por Gauss é denominada erro médio quadrático (EMQ) (MONICO et al., 2009).

2.3.5.2 Erro Médio Quadrático

O erro médio quadrático é definido como sendo a média da diferença entre o valor do estimador e do parâmetro ao quadrado.

$$EMQ = \sum_i \frac{(y_i - y'_i)^2}{n} \quad (2.5)$$

O erro médio quadrático é a soma das diferenças entre o valor estimado e o valor real dos dados, ponderados pelo número de termos. y é o valor real e y' é o valor encontrado, e n é o número de termos envolvidos na soma

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

O protótipo desenvolvido ao longo deste projeto tem por objetivo extrair a precisão dos traçados baseado em imagens de palavras. Para isso, cria-se as imagens de palavras e através de um ambiente iterativo, o participante deverá cobrir as palavras apresentadas na tela. Desta forma, aplicaram-se técnicas de processamento de imagens para extrair as características dos traçados fornecidos e calcular a precisão de acerto do participante.

3.1 Protótipo Experimental

O protótipo desenvolvido visa replicar o experimento apresentado em Prichard et al. (2014). Desta forma, este protótipo inicial apresentará um conjunto de funções limitadas, porém facilmente expandível a novos módulos ou métodos.

Neste protótipo experimental criou-se uma plataforma automatizada de avaliação de aprendizado motor. Desta forma, será possível determinar uma métrica que determine a característica do traçado fornecido através de uma análise de semelhança. Para isto, utilizou-se as bibliotecas Pygame (SHINNERS, 2011) para construir o ambiente de interação com o participante, OpenCV (ITSEEZ, 2015) para efetuar o processamento de imagens, em conjunto com a linguagem de programação Python (ROSSUM, 1995).

3.1.0.1 Apresentação do protótipo

Montou-se um conjunto de interfaces para interação com o usuário do sistema. A Figura 9 mostra a configuração do experimento.

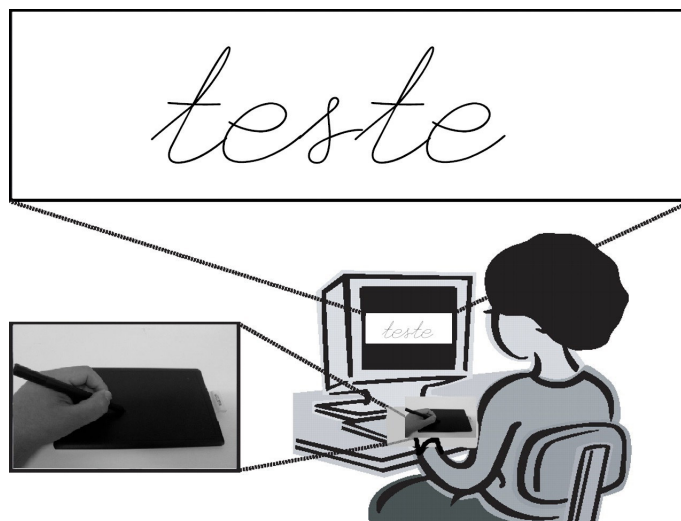


Figura 9: O participante deve movimentar o cursor na tela passando a caneta sob a mesa digitalizadora até que esteja pronto para escrever, sem encostar. O objetivo, é traçar a palavra disposta na tela com a caneta, para isso deve-se encostar a caneta na superfície da mesa digitalizadora e arrastar de forma semelhante a escrever em um papel.

Fonte: Baseado em Reis et al. (2009).

Ao iniciar o participante declara sua identificação, conforme ilustra a Figura 10.



Figura 10: Tela de entrada.

Após isso, é apresentado um conjunto de palavras, uma por vez, e por um determinado tempo, por exemplo a palavra da Figura 11.



Figura 11: Exemplo de palavra de entrada.

Nesta etapa, o objetivo do participante é cobrir a palavra - linha vermelha da Figura 12 - em um tempo determinado. O objetivo de predefinir o tempo é garantir que todos os participantes terão velocidade de traçado semelhantes. Desta forma, o parâmetro de avaliação é o mesmo para todos.



Figura 12: Exemplos de traçados adquiridos durante os testes.

3.1.0.2 Experimento

De forma a manter-se fiel ao experimento apresentado em Prichard et al. (2014), construiu-se um *dataset* de palavras, que foram extraídas de uma lista, onde as expressões estão ordenadas sua frequência de utilização e classificadas pelo idioma ¹. Filtrou-se apenas as palavras cujo o tamanho está entre 3 a 5 letras. Sendo assim, definiu-se 3 subconjuntos, cada um com 10 palavras, constituídos de 3 palavras de 3 letras, 4 de 4 letras e 3 de 5 letras, representando tarefas de nível baixo, médio e alto, respectivamente. Para escrever as palavras, utilizou-se uma fonte cursiva e gratuita (League Script ²).

Desta forma, o experimento foi dividido em três sessões, cada um contendo as 10 palavras de um set de palavras determinado, conforme comentado no parágrafo anterior. Entre uma sessão e outra, há um tempo de pausa para que o participante descanse e possa iniciar a próxima sessão.

¹ Disponível em: <http://invokeit.wordpress.com/frequency-word-lists/>

² Disponível em: www.theleagueofmoveabletype.com

3.1.1 Processamento de Imagem

Para efetuar o processamento de imagens e adquirir os dados utilizou-se a abordagem proposta em Prichard et al. (2014). O procedimento é o seguinte:

i) Inicialmente, com as imagens fonte e do traçado separadas, aplica-se um filtro gaussiano utilizando um *kernel* 50x50 com desvio padrão de 12 pixels. O objetivo de borrar a imagem com o filtro é gerar uma margem de erro entre o traçado e a imagem apresentada.



Figura 13: Exemplo da aplicação de um filtro gaussiano 50x50 com desvio padrão de 12 pixels. Na esquerda a imagem original e na direita a imagem pós processamento.

ii) Após a aplicação do filtro, a imagem fica quase ilegível. Desta forma, faz-se necessário um tratamento de limiarização de imagem, que neste caso, consiste basicamente em trocar os pixels diferentes de 255, os quais representam a cor branca, por 0, que representam a cor preta.



Figura 14: Exemplo da aplicação de limiarização na imagem pós aplicação do filtro. Na esquerda a imagem processada utilizando filtro gaussiano 50x50 e na direita a imagem limiarizada.

iii) De posse das imagens fonte e do traçado e após o pré-processamento, executa-se a análise do traçado, para isso, efetua-se uma subtração de imagens.

iv) O erro é calculado através do algoritmo do erro médio quadrático aplicado a uma imagem branca e a imagem resultante da subtração. Desta forma, caso o traçado esteja perfeitamente fiel a forma da palavra, os resíduos serão nulos, e então, o erro será 0.

v) Por fim, em uma pasta com o nome do participante, exporta-se em um .csv com o erro, tempo decorrido e a palavra traçada.

Complementarmente, substituiu-se a aplicação do filtro gaussiano pelo Filtro da Média e pela operação morfológica de dilatação, os resultados estão disponíveis na Seção 4

3.1.2 Setup

Para um bom funcionamento do software faz-se necessário o uso de alguns equipamentos de hardware. São eles:

- Computador com monitor.
- Mesa digitalizadora.

Nos experimentos realizados ao longo deste trabalho utilizou-se como setup um computador portátil com as seguintes configurações: processador AMD Dual-Core, 2 GB RAM, a mesa é da marca Wacom modelo CTL471L, com resolução de 100 linhas por milímetro (2540 lpi). A resolução padrão utilizada nas imagens foi de 1366x768p.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 15, é um exemplo que ilustra um traçado adquirido em um teste.

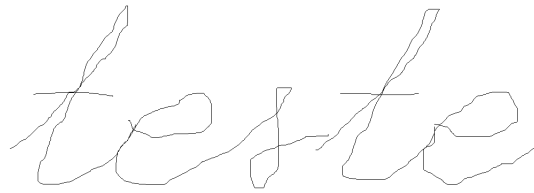


Figura 15: Exemplo da palavra "teste" sem aplicação de processamento. Resolução 1366x768p.

Conforme mencionado na Seção 3, nesta etapa, aplica-se o filtro gaussiano e o resultado pode ser visto na Figura 16. É notável que a imagem fica relativamente apagada, sendo necessária a aplicação de limiarização. Neste caso, o objetivo é transformar a imagem para apenas dois tons, preto ou branco.



Figura 16: Exemplo da palavra "teste" pós aplicação de filtro gaussiano de 50x50 em uma imagem de dimensões 1366x768p.

O resultado da limiarização está apresentado na Figura 17. Nesta etapa, pode-se aplicar o algoritmo de soma dos erros quadráticos e desta forma obtém-se um valor numérico o qual representa a precisão do traçado apresentado.



Figura 17: Exemplo da palavra "teste" pós aplicação de filtro gaussiano com *kernel* de 50x50 limiarizada. Dimensões da imagem: 1366x768p.

Aplicou-se as operações de filtro da média e dilatação. Os resultados estão ilustrados nas Figuras 18 e 19 respectivamente.



Figura 18: Exemplo da palavra "teste" pós aplicação de filtro da média com *kernel* 50x50 limiarizada, dimensões da imagem: 1366x768p.

A Figura 19 mostra a aplicação da operação morfológica de dilatação. Utilizou-se o formato o *kernel* elíptico. Desta forma, a imagem dilatada apresenta bordas com características mais suaves e arredondadas. Caso utilizássemos um *kernel* quadrado, teríamos um resultado com bordas quadradas.



Figura 19: Exemplo da palavra "teste" pós aplicação da operação morfológica de dilatação com *kernel* elíptico de 50x50, dimensões da imagem: 1366x768p.

Observando nas imagens, é notável que os resultados obtidos são semelhantes mesmo utilizando diferentes técnicas de processamento. Sendo assim, um aspecto interessante a se observar, é o tamanho do *kernel*, o qual está diretamente relacionado a dimensão da margem de erro utilizada. No experimento, utilizou-se um *kernel* de 50x50. Neste cenário, a margem de erro é relativamente grande. Uma alteração interessante, é diminuir o tamanho do *kernel* e desta forma aumentar o rigor da avaliação dos testes.

Na Figura 20, é feito um comparativo entre os diferentes tipos de processamento e diferentes tamanhos de *kernel*.

(a) Filtro gaussiano com $kernel$ 10x10. (b) Filtro gaussiano com $kernel$ 20x20. (c) Filtro gaussiano com $kernel$ 30x30. (d) Filtro gaussiano com $kernel$ 40x40.

(e) Filtro da media com $kernel$ 10x10. (f) Filtro da media com $kernel$ 20x20. (g) Filtro da media com $kernel$ 30x30. (h) Filtro da media com $kernel$ 40x40.

(i) Dilatação com $kernel$ 10x10. (j) Dilatação com $kernel$ 20x20. (k) Dilatação com $kernel$ 30x30. (l) Dilatação com $kernel$ 40x40.

Figura 20: Comparativo entre diferentes tipos de processamentos e diferentes tamanhos de $kernel$ s em uma imagem de dimensões 1366x768p.

Fonte: Autor

A diminuição do tamanho do $kernel$ gera novas possibilidades ao projeto. Como por exemplo, criar níveis de dificuldade com graus de avaliação distintos. Desta forma, pode-se mensurar o rigor de avaliação de acordo com algum parâmetro, como a faixa etária, por exemplo. Conforme discutido nos trabalhos de Pinheiro (2015) e Valentini (2014), a precisão do traçado evolui de acordo com a idade do participante. Neste caso, os usuários serão pessoas as quais estão desenvolvendo a técnica de escrita, desta forma, seria interessante construir uma aplicação que leve em consideração a faixa etária para definir o critério de avaliação de precisão do traçado.

Na Figura 21 e Tabela 1, ilustra-se um comparativo que visa traçar uma relação entre o tamanho do $kernel$ e o grau de rigor da avaliação utilizando o método dos erros médios quadráticos para calcular o erro. Conforme pode-se observar é possível identificar uma relação entre o tamanho do $kernel$ e o grau de rigor da avaliação. Conforme diminui-se o tamanho do $kernel$, o percentual do erro para uma mesma imagem aumenta.

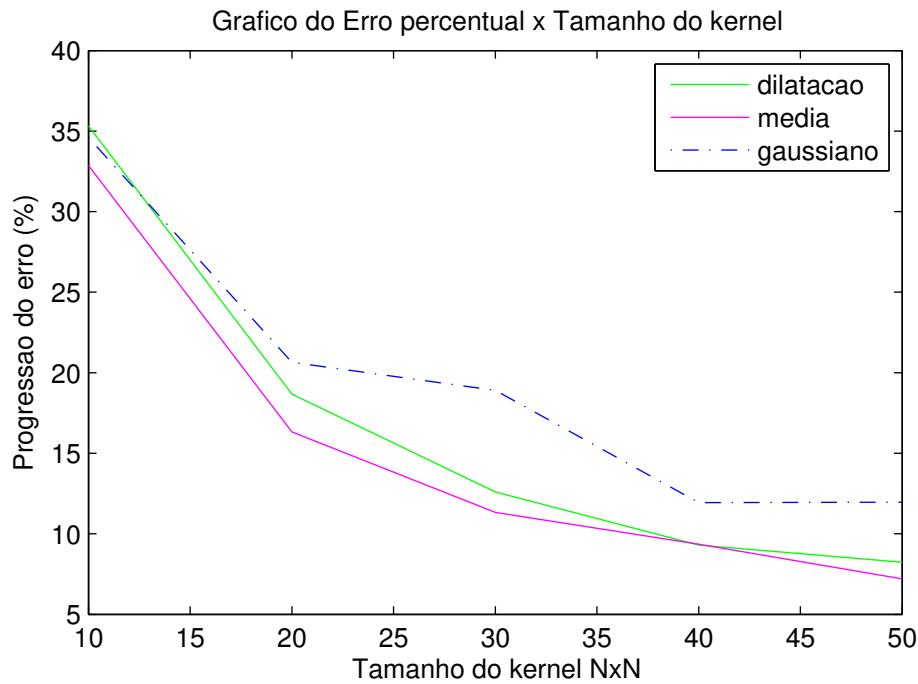


Figura 21: Gráfico ilustrando a relação entre os diferentes tipos de pré-processamento e variação do tamanho do *kernel* para a Figura 15.

kernel	Dilatação (%)	Media (%)	Gaussiano (%)
10x10	35,32	32,86	34,60
20x20	18,67	16,32	20,64
30x30	12,60	11,33	18,90
40x40	9,30	9,36	11,94
50x50	8,24	7,20	11,97

Tabela 1: Comparativo do erro percentual para diferentes métodos de pré-processamento e tamanhos de *kernel* considerando o traçado apresentado da Figura 15.

Na Figura 23 e Tabela 2, ilustra-se um comparativo entre o tamanho do *kernel* e o erro percentual calculado através da Figura 22. Novamente, é notável o padrão descendente do erro conforme aumenta-se o tamanho do *kernel*.

teste

Figura 22: Exemplo da palavra "teste" pós aplicação da operação morfológica de dilatação com *kernel* elíptico de 10x10, dimensões da imagem: 1366x768p.

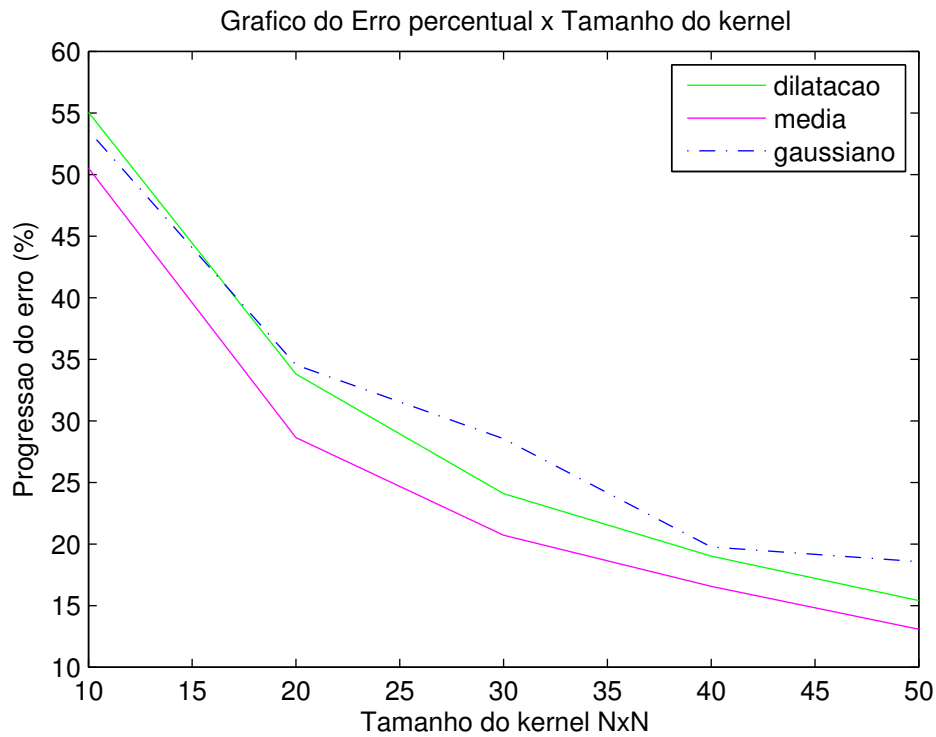


Figura 23: Gráfico ilustrando a relação entre os diferentes tipos de pré-processamento e variação do tamanho do *kernel* para a Figura 22.

kernel	Dilatação (%)	Media (%)	Gaussiano (%)
10x10	55,05	50,51	53,56
20x20	33,8	28,64	34,54
30x30	24,08	20,72	28,54
40x40	19,01	16,57	19,75
50x50	15,4	13,07	18,57

Tabela 2: Comparativo do erro percentual para diferentes métodos de pré-processamento e tamanhos de *kernel* considerando o traçado apresentado da Figura 22.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nas considerações feitas na Seção 4, confirma-se a hipótese que o tamanho do *kernel* influencia diretamente o rigor da avaliação do traçado. Além disto, foram apresentadas alternativas ao proposto em Prichard et al. (2014). Como pode-se perceber, os métodos apresentam resultados bem próximos e sendo assim, todos conseguem cumprir o objetivo de forma análoga. Desta forma, pode-se optar por um método ou outro. O método de erosão não necessita de limiarização e a vantagem do filtro da média é sua baixa complexidade de implementação. Já o filtro gaussiano, por apresentar maior suavização acaba por ficar em uma média entre as outras duas técnicas utilizadas.

A principal contribuição deste trabalho é proporcionar uma ferramenta que efetua a análise de traçado rápida e automatizada. Desta forma, é possível fornecer um parâmetro global de avaliação desta tarefa motora. O software desenvolvido neste trabalho já está sendo utilizado como base para outros trabalhos, nomeadamente projeto de aprendizado motor e pretende-se utilizá-lo futuramente para tarefas de reabilitação motora para pacientes com problemas motores.

5.1 Trabalhos Futuros

Um ponto importante a se destacar é em relação às utilizações. Neste trabalho, aplicou-se a análise do traçado tendo como base palavras, porém, nada impede a utilização para análise de outros tipos de contorno. Sendo assim, é possível a utilização do mesmo conceito em cenários distintos. Um exemplo interessante poderia ser um labirinto. Ou mesmo utilizar diferentes *kernels* para simular diferentes graus de liberdade e assim criar um ambiente semelhante a um jogo, o qual conforme o participante vai avançando os níveis diminui-se o tamanho do *kernel* do filtro e desta forma aumenta-se o grau de dificuldade daquele nível. Outro aspecto interessante, é em relação à progressão de palavras. Com

o passar dos níveis, selecionando exemplos de escrita mais complexa, isto é, que exijam movimentos mais trabalhosos e custosos para o participante. Desta forma, gera-se um teste mais dinâmico e conseqüentemente mais atrativo aos participantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOELEN, M. The role of rehabilitative modalities and exercise in parkinson's disease. *Disease-A-Month*, v. 5, n. 53, 2007. Citado na página 16.
- CÂMARA, G. et al. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. *Computers & graphics*, Elsevier, v. 20, n. 3, p. 395–403, 1996. Citado na página 18.
- CROSTA, A. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. UNICAMP/Instituto de Geociências, 1999. ISBN 9788585369026. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=XBNQAAAACAAJ>>. Citado na página 19.
- GONZALEZ, R.; WOODS, R. *Processamento Digital De Imagens*. ADDISON WESLEY BRA, 2010. ISBN 9788576054016. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=r5f0RgAACAAJ>>. Citado 6 vezes nas páginas 18, 19, 20, 21, 22 e 23.
- ITSEEZ. *The OpenCV Reference Manual*. 2.4.9.0. ed. [S.l.], 2014. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 25.
- ITSEEZ. *Open Source Computer Vision Library*. 2015. <https://github.com/itseez/opencv>. Citado na página 26.
- JUNIOR, D. S. et al. Avaliação de métodos automáticos de limiarização para imagens de plantas de milho atacadas por spodoptera frugiperda. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, SciELO Brasil, 2003. Citado na página 20.
- KITAGO, T.; KRAKAUER, J. W. Motor learning principles for neurorehabilitation. *Handb Clin Neurol*, v. 110, p. 93–103, 2013. Citado na página 16.
- KORMAN, M. et al. Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, National Acad Sciences, v. 100, n. 21, p. 12492–12497, 2003. Citado na página 16.
- LEVIN, E. *A infância em cena: constituição do sujeito e desenvolvimento psicomotor*. Vozes, 2002. ISBN 9788532618252. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=_cUHMwAACAAJ>. Citado na página 17.
- MANCINI, M. et al. Effects of parkinson's disease and levodopa on functional limits of stability. v. 23, p. 450–8, 06 2008. Citado na página 16.

- MEDEIROS, N. das G.; SILVA, E. A. da; NOGUEIRA, J. R. Segmentação morfológica de imagens utilizando o gradiente morfológico multi-escala. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 54, 2002. Citado na página 23.
- MONICO, J. F. G. et al. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Universidade Federal do Paraná, v. 15, n. 3, 2009. Citado na página 25.
- NUNES, F. L. *Introdução ao processamento de imagens médicas para auxílio a diagnóstico – uma visão prática*. Editora PUC-Rio, 2006. Disponível em: <www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/jai/2006/003.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 15, 21 e 22.
- PINHEIRO, C. L. Validade e confiabilidade da movement assessment battery for children–2ª edição para crianças brasileiras de 4 a 8 anos de idade. UFMG, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 34.
- PRICHARD, G. et al. Effects of different electrical brain stimulation protocols on subcomponents of motor skill learning. *Brain stimulation*, Elsevier, v. 7, n. 4, p. 532–540, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 17, 26, 28, 29 e 37.
- REIS, J. et al. Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, National Acad Sciences, v. 106, n. 5, p. 1590–1595, 2009. Citado na página 27.
- ROSSUM, G. *Python Reference Manual*. Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, 1995. Citado na página 26.
- SHINNERS, P. *PyGame*. 2011. <http://pygame.org/>. Citado na página 26.
- SOARES, G. da S.; PEYRÉ-TARTARUGA, L. A. Doença de parkinson e exercício físico: uma revisão da literatura-doi: <http://dx.doi.org/10.15602/1983-9480/cmbs.v12n24p69-85>. *Ciência em Movimento*, v. 12, n. 24, 2010. Citado na página 16.
- VALENTINI, N. C. alfabetização e desenvolvimento motor: um estudo sobre o desenvolvimento da escrita e da motricidade fina em crianças dos 1 e 2 anos do ensino fundamental. *Temas sobre Desenvolvimento*, v. 20, n. 109, p. 109, 2014. Citado na página 34.
- WATERMAN, A. H. et al. Sensorimotor control dynamics and cultural biases: learning to move in the right (or left) direction. *Royal Society open science*, The Royal Society, v. 4, n. 2, p. 160806, 2017. Citado na página 17.