

Verificação de Assinaturas Off-line Utilizando o Algoritmo *Dynamic Time Warping*

Carlos Francisco Soares de Souza¹, Carlos Eduardo Pina Pantoja², Francisco Carlos Monteiro de Souza³

Centro de Informática – CIn
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Recife, Brasil
¹cfss@cin.ufpe.br
²cepp@cin.ufpe.br
³fcms2@cin.ufpe.br

Abstract—This paper presents a prototype of an off-line signature verification system that use a modified Dynamic Time Warping (DTW). The algorithm is used to measure similarity between two sequences which may vary in time, and it works by extracting the vertical projection feature from the signature images and comparing it by using elastic matching. Moreover, is presented a technique to align geometrically the image, aiming better the system inputs in order to receive better results.

Verificação de Assinaturas Off-line; Dynamic Time Warping.

I. INTRODUÇÃO

A verificação de assinatura, assim como todas as outras biometrias, é um método baseado em características comportamentais individuais, tendo como base que pessoas possuem maneiras particulares de escrever sua assinatura. Este método biométrico possui boa aceitação por ser pouco invasiva, e ter baixo custo de aquisição, além de ser aplicável em diversas situações onde assinaturas já são utilizadas, como autenticação de documentos, assinatura de cheques e cartões de crédito, dentre outras.

Existem, basicamente, duas abordagens para se trabalhar com verificação de assinaturas: on-line e off-line. Métodos de verificação on-line possuem acesso às informações inerentes àquela assinatura durante o processo de escrita, já os métodos de verificação off-line têm acesso apenas à imagem depois de capturada.

O maior desafio dos métodos de verificação de assinaturas é determinar se uma assinatura em questão é, de fato, escrita por quem afirma ser e, se falsificações podem ser identificadas. Diversas técnicas já foram exploradas pela literatura buscando superar este desafio, e bons resultados também foram alcançados utilizando Modelos Escondidos de Markov, Redes Neurais Artificiais, Algoritmos Genéticos, Análise do Componente Principal, dentre outras, como se pode ver em [8-17].

O método implementado por este artigo foi, originalmente, proposto por [1] e, trabalha com *Dynamic Time Warping* (DTW), que é uma técnica de comparação de padrões, originada na área de reconhecimento de fala, que tenta encontrar similaridade entre duas sequências, baseada no alinhamento temporal dos modelos a serem verificados e

do modelo referência. O algoritmo DTW se propõe a encontrar o melhor caminho entre dois padrões, através de uma matriz de associação de índices. Uma modificação no algoritmo também é proposta pelos autores, a qual incorpora um fator de estabilidade à análise, a fim de considerar apenas setores relevantes das assinaturas verificadas.

A partir deste capítulo, este artigo está estruturado da seguinte forma: na seção II, Pré-processamento, apresenta-se a forma com que as imagens são tratadas antes de serem submetidas ao algoritmo; na seção III, Algoritmo *Dynamic Time Warping*, a versão clássica do algoritmo é apresentada e descrita; na seção IV, Modificação no Algoritmo DTW, mostra-se a proposta de alteração do algoritmo tradicional; na seção V, Metodologia, é mostrado como o algoritmo foi utilizado; na seção VI, Base de Dados, é descrita a base de dados que foi utilizada pelo protótipo; na seção VII, Resultados Experimentais, são apresentados os resultados obtidos; na seção VIII, Considerações Finais, são feitos alguns comentários sobre o desenvolvimento do projeto; e, por fim, na seção IX, Trabalhos futuros, são feitas algumas sugestões buscando de melhores resultados.

II. PRÉ-PROCESSAMENTO

Na abordagem utilizada, trabalhou-se com imagens que após a aquisição, foram convertidas em imagens binárias, para que a extração de características fosse dada de uma forma mais precisa. Também é proposta uma modificação escalar à imagem, rotacionando-a com objetivo de deixá-la alinhada geometricamente, ou próximo disso.

Diversas características de dimensão única podem ser extraídas das assinaturas, como: Projeção Vertical (PV), Projeção Horizontal (PH), contorno superior, contorno inferior, dentre outras. Ao longo deste trabalho, utilizou-se a PV, adquirida das imagens somando a quantidade de pixels preenchidos em cada coluna da imagem, como mostra a Figura 1, formando um vetor de característica para cada imagem, para que sejam submetidos ao algoritmo DTW.

A fim de tornar as características mais sensíveis às mudanças de escala, os valores da projeção vertical foram normalizados pela raiz quadrada do tamanho da mesma, já que o referenciado autor considera uma característica estável e com um bom poder de solução.

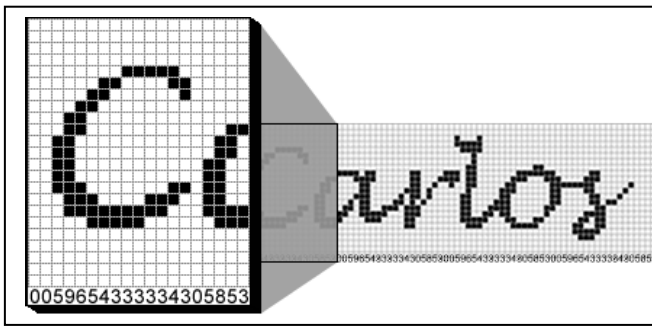


Figure 1. Projeção Vertical da imagem de uma assinatura

A. Alinhamento geométrico

O ângulo de rotação é escolhido empiricamente, definido pelo tamanho da menor projeção horizontal da assinatura.

No artigo original, os autores rotacionam a imagem como um todo, considerando que a assinatura esteja centralizada na imagem, o que, na base de assinaturas que utilizamos, nem sempre é verdade. Para isso, antes de efetuar a rotação na imagem, detecta-se o centro da assinatura, capturando as coordenadas dos primeiros pixels pretos à direita, esquerda, acima e abaixo. De posse destes pontos, é calculado então o centro da assinatura, e a rotação é feita sob este. Todavia, ainda não se tem o sentido para o qual a rotação será feita e, para isso, utilizou-se um algoritmo para detecção do sentido, explicado a seguir:

São analisados os pixels entre o intervalo dos primeiros pixels à esquerda e à direita, de baixo para cima, contabilizando-se a quantidade de pixels brancos até o primeiro pixel preenchido acima. Feito isso no intervalo da assinatura, somam-se os pixels de antes do centro da assinatura, e os de depois, tendo como limite superior, também o valor do centro da assinatura. Com estas somas, entende-se que o valor da menor soma, é o lado mais próximo da base, o qual tem que ser movido para cima, como mostra Figura 2.

Feita a rotação, os cantos da imagem podem perder a cor, o que prejudicaria o resultado da montagem da PV, para isso, após a rotação é feita uma coloração dos cantos que forem necessários, para que os mesmos fiquem com a mesma cor do fundo da imagem.

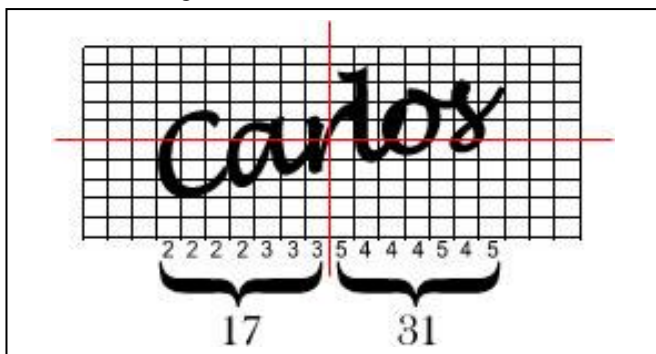


Figure 2. Exemplo do funcionamento do algoritmo de alinhamento geométrico.

III. ALGORITMO DYNAMIC TIME WARPING

O DTW é um algoritmo baseado em programação dinâmica, que faz comparação de padrões, não necessariamente do mesmo tamanho, baseada em suas formas, que podem variar com o tempo, conforme demonstrado na Figura 3. A ideia básica é comparar características de um determinado padrão a ser verificado com um padrão referência previamente cadastrado.

Este algoritmo tem sido utilizado para comparar diferentes padrões de falas, como se pode ver em [4], [5], [6], e [7].

Algumas das principais vantagens da utilização do algoritmo DTW é sua simplicidade, ou seja, não requer modelos matemáticos complexos. Seus únicos requisitos são amostras das classes a serem comparadas.

A. Funcionamento

O funcionamento do algoritmo DTW clássico é definido a seguir:

1) Considerando dois padrões, em vetores, a serem comparados, aqui chamados por R e V , modelo referência e modelo a ser verificado, respectivamente, monta-se uma matriz de tamanho $R \times V$. Por conveniência, coloca-se o menor padrão no eixo Y da matriz, deixando o maior ao longo do eixo X .

2) Monta-se então a matriz de distancias acumuladas, considerando seus índices iniciais os da extremidade inferior esquerda, conforme ilustrado na Figura 4.

a) Primeiramente, primeiro elemento é preenchido, calculando a distância absoluta entre os dois primeiros elementos de cada vetor.

b) Posteriormente, preenchem-se os itens da primeira linha, calculando para cada item a soma da distância absoluta dos elementos daquela posição de cada vetor, com o valor do elemento da coluna anterior à esquerda:

$$DA[0, V_j] = |R_i - V_j| + DA[0, j-1]$$

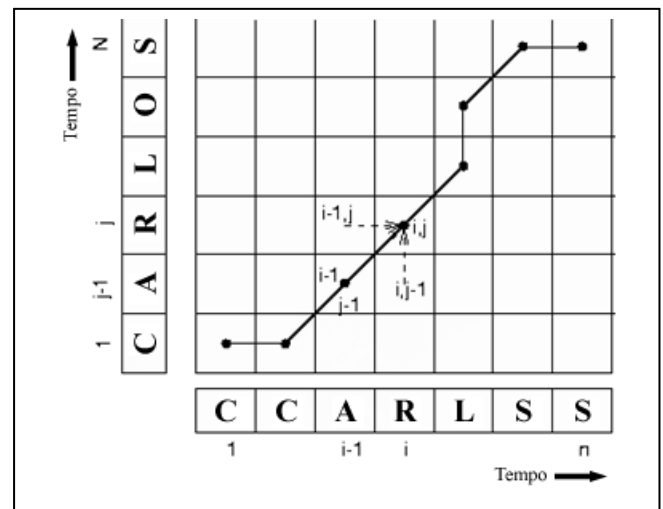


Figure 3. Exemplo de funcionamento do algoritmo DTW clássico. [2]

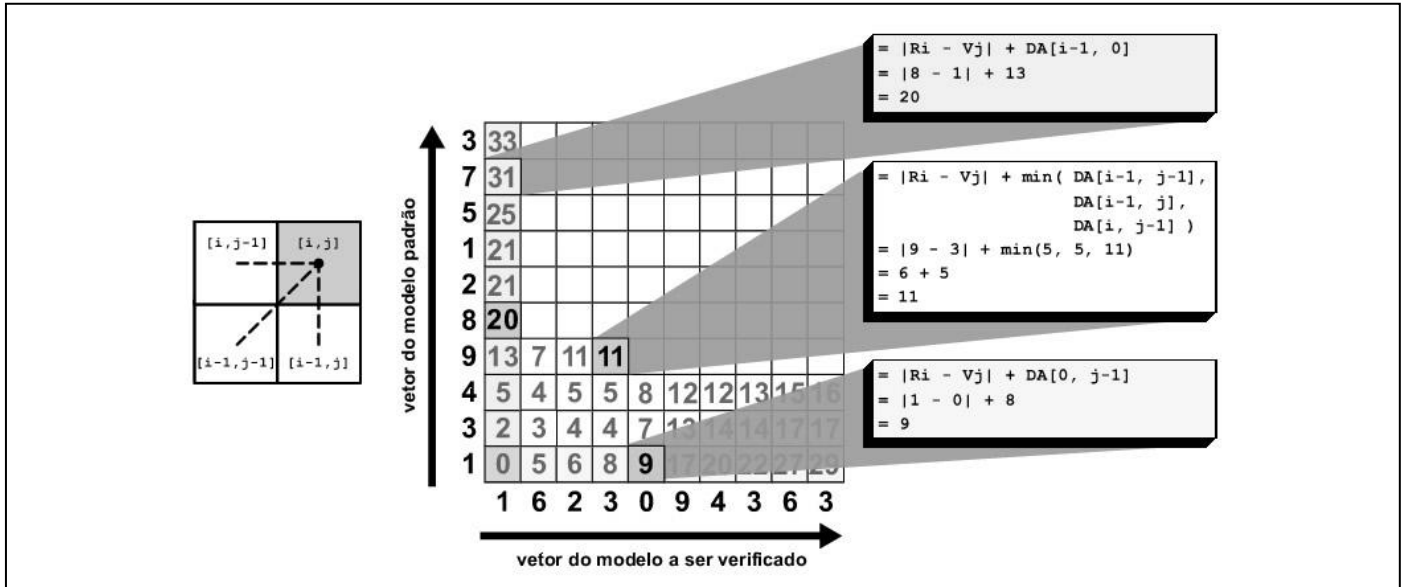


Figure 4. Exemplo de funcionamento do algoritmo DTW clássico. [2]

c) Após a primeira linha ter sido preenchida, os itens da primeira coluna devem ser preenchidos, calculando para cada item a soma da distância absoluta dos elementos daquela posição de cada vetor, com o valor do elemento da linha anterior abaixo:

$$DA[R_i, 0] = |R_i - V_j| + DA[i-1, 0]$$

d) De posse das primeiras linha e coluna da matriz preenchidas, calculam-se os valores dos elementos restantes, da esquerda para a direita e de baixo para cima, onde se soma o valor da distância absoluta dos elementos daquela posição de cada vetor, com o menor valor dentre os primeiros elementos anteriores à esquerda, abaixo, e à diagonal:

$$DA[R_i, V_j] = |R_i - V_j| + \min(DA[i, j-1], DA[i-1, j], DA[i-1, j-1])$$

3) De posse da matriz de distâncias acumuladas completa, calcula-se a soma dos valores do melhor caminho entre os pontos final e inicial, encontrados partindo do ponto final, superior a direita, escolhendo sempre o menor valor dentre os três próximos à esquerda, abaixo e à diagonal, como demonstrado na Figura 5. Na ocasião de valores iguais, a preferência é dada ao elemento da diagonal.

4) Feito isso, a distância DTW é calculada dividindo a soma dos elementos do melhor caminho pelo tamanho do modelo referência.

O melhor caminho, $C=\{c_1, c_2, \dots, c_K\}$, de tamanho K , entre duas seqüências $R=\{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ e $V=\{v_1, v_2, \dots, v_M\}$, de tamanhos N e M , respectivamente, deve satisfazer algumas condições:

1) *Condição de Limite:* $c_1=(1,1)$ e $c_K=(n,m)$, que indica que o melhor caminho deve começar e terminar em celular de diagonais de cantos opostos na matriz.

2) *Condição de Continuidade:* Dado $wK=(a, b)$, então $wK-1=(a', b')$ onde $a-a' \leq 1$ e $b-b' \leq 1$. Esta condição restringe os passos permitidos na formação do vetor do melhor caminho para células adjacentes, incluindo células diagonalmente adjacentes.

3) *Monotonicidade:* Dado $wK=(a, b)$, então $wK-1=(a', b')$ onde $a-a' \geq 0$ e $b-b' \geq 0$. Esta condição força os pontos no melhor caminho a serem monotonicamente espaçados no tempo.

IV. MODIFICAÇÃO NO ALGORITMO DTW

A modificação proposta ao algoritmo DTW envolve a adição de um fator de estabilidade das diversas partes da assinatura ao processo.

O método associa um peso a cada item do vetor de melhor caminho. Pesos estes que modificam a função de custo do melhor caminho entre as dadas assinaturas, pois faz com que elas apenas somem os pontos que são relevantes.

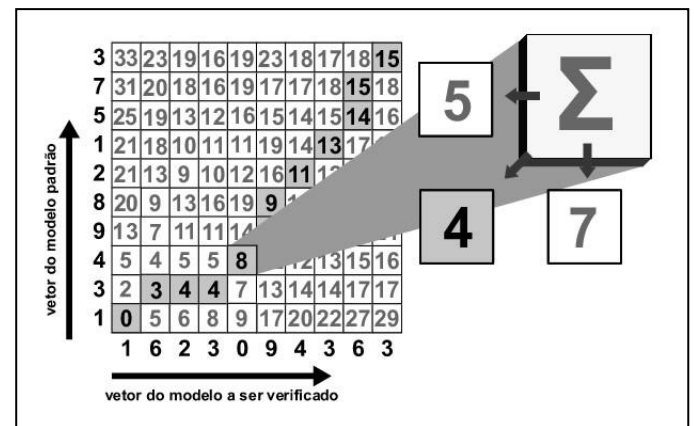


Figure 5. Exemplo de funcionamento da soma dos valores do melhor caminho.

Dado um conjunto de assinaturas do mesmo autor, onde cada assinatura é representada pela projeção vertical, seleciona-se um par de assinaturas e calcula-se o melhor caminho entre elas, dado por $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_K\}$. Para cada ponto $c=(i,j)$ do caminho, compara-se seus valores de i e j , e, caso sejam iguais, adiciona-se uma pontuação a um vetor de estabilidade. Esses pontos cujos i e j são iguais são chamados de Ponto de Combinação Direta (PCD).

A existência de um PCD em um caminho de uma assinatura indica que em um determinado ponto i da primeira assinatura existe um ponto j correspondente, de região similar na segunda assinatura. Logo, para cada ponto de uma assinatura referência, uma pontuação é atribuída: 1 (um) caso seja um PCD, e 0 (zero) caso seja outro ponto qualquer.

Para cada par do conjunto de assinaturas, um vetor de pontuação é montado, de acordo com a quantidade de PCD. Após montados os vetores para as combinações das assinaturas, é calculada a média dos valores de cada posição, para formar o vetor de estabilidade, a ser incluído no cálculo da distância DTW.

Uma vez calculado o fator de estabilidade dos vários componentes da assinatura, esta informação deve ser incorporada ao cálculo da distância DTW. Ao ser somado os valores do melhor caminho, descrito no passo 3 (três) do sub-item A do item III deste artigo, multiplica-se para cada ponto o item referente àquela posição do vetor de estabilidade.

Esta modificação leva em consideração a estabilidade das diferentes partes da assinatura, e fornece uma melhor medida de dissimilaridade entre duas assinaturas.

V. METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DAS ASSINATURAS

Para cada conjunto de assinaturas de um determinado autor, é calculado um limiar e armazenado, para que seja posteriormente utilizado para verificar as assinaturas submetidas ao sistema.

Para realizar o cálculo do limiar, efetua-se uma combinação dois a dois com todas as assinaturas, submetendo-as em pares ao algoritmo DTW, sem combinações repetidas, para que sejam montadas as matrizes de distâncias acumuladas, calculado o melhor caminho e montado o vetor de pontuações, para cada par. De posse dos vetores de pontuação, calcula-se o fator de estabilidade descrito anteriormente e, posteriormente, calcula-se a distância DTW para cada par.

O limiar a ser utilizado para comparações é a máxima distância entre as combinações dos pares.

A análise de assinaturas submetidas ao sistema é feita computando a média das distâncias DTW da assinatura submetida, com todas as referências armazenadas. A decisão sobre a veracidade da assinatura em questão é baseada na comparação desta distância média com o limiar armazenado. Para valores maiores que o limiar, a assinatura em questão deve ser considerada falsa.

VI. BASE DE DADOS

A base de dados utilizada continha 551 assinaturas, sendo 343 verdadeiras e 208 falsas, de 33 pessoas. As falsificações eram dos tipos aleatórias, simples e qualificadas. Todas as assinaturas foram escritas utilizando caneta esferográfica preta, em papel branco com retângulos de bordas pretas, de 8,2 por 2,2 centímetros, que demarcavam o local de assinatura.

Estas diferenças de dois milímetros foram propositalmente colocadas para evitar que, ao assinar, as pessoas se aproximassem das bordas dos retângulos, e, que foram removidas no processo de digitalização, que foi realizada por uma multifuncional Lexmark X1200, utilizando resolução de 300dpi, e em tons de cinza.

Além do mais, todas as pessoas escreveram com o papel preso a uma prancheta, com o mesmo fundo liso e, também, sentados confortavelmente em uma cadeira sem braços, com altura de 45 cm do assento para o chão e, apoiados de forma natural em uma mesa, com altura de 80 cm do chão.

VII. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nos experimentos realizados, duas abordagens foram utilizadas: primeiro se tentou replicar o artigo original, submetendo ao algoritmo uma combinação de três assinaturas, escolhidas aleatoriamente para cadastro no sistema, utilizando as demais para verificação.

A segunda abordagem foi a utilização de cinco assinaturas no cadastro, ao invés de apenas três, e as restantes para teste de validação. Experimentou-se esta abordagem para ver se o resultado permanecia similar, piorava ou melhorava.

A primeira abordagem, utilizando DTW modificado, com o fator de estabilidade, obteve taxas de Falsa Rejeição de 20% e Falsa Aceitação de 12%, obtendo uma taxa de erro total de 17% e, 83% de acerto, como mostra Figura 6.

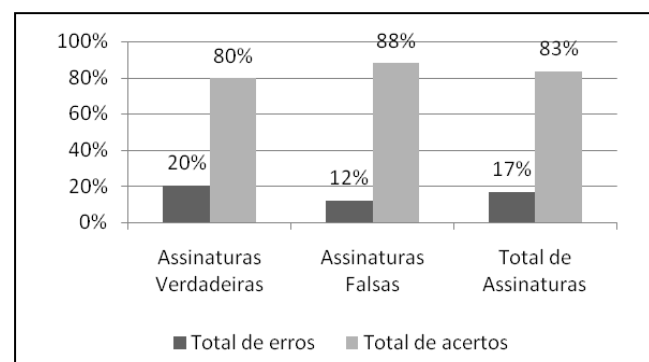


Figure 6. Resultado da utilização do algoritmo DTW modificado, utilizando o fator de estabilidade e três assinaturas.

Quando se utilizou na primeira abordagem o algoritmo DTW clássico, sem o fator de estabilidade, os resultados obtivos foram: Falsa Rejeição de 34% e Falsa Aceitação de 5%, chegando a um total de 21% de erros e 79% de acertos, como mostra Figura 7.

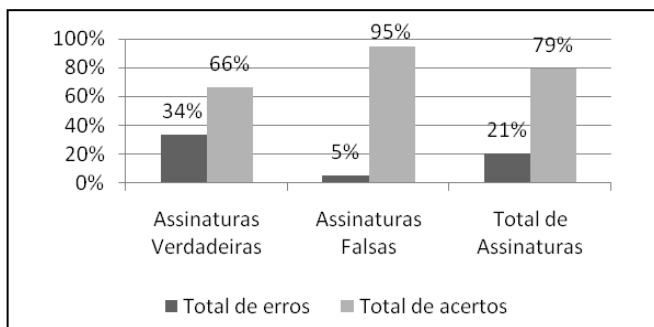


Figure 7. Resultado da utilização do algoritmo DTW clássico, sem o fator de estabilidade, e com três assinaturas.

Os resultados obtidos utilizando a segunda abordagem e o algoritmo DTW modificado foram: 8% de Falsas Rejeições e 14% de Falsos Aceites, alcançando 11% de erros e 89% de acertos, como mostra Figura 8.

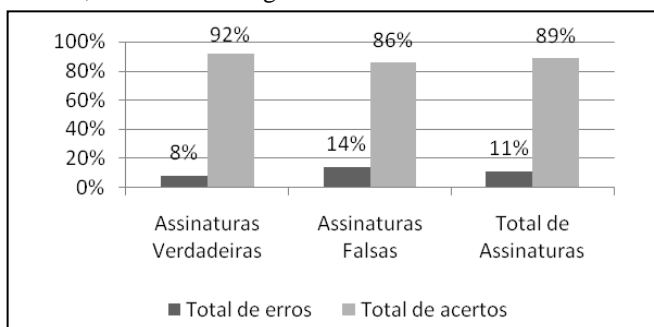


Figure 8. Resultado da utilização do algoritmo DTW modificado, utilizando o fator de estabilidade e cinco assinaturas.

Já a utilização da segunda abordagem com o algoritmo DTW clássico, chegou aos seguintes resultados: 9% de Falsas Aceitações e 9% Falsas Rejeições, alcançando total de 9% de erros e 91% de acertos, como mostra Figura 9.

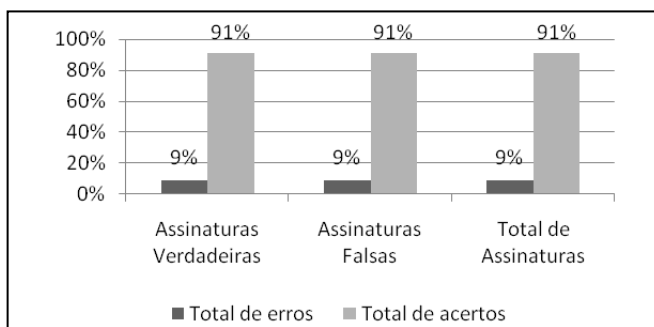


Figure 9. Resultado da utilização do algoritmo DTW clássico, sem o fator de estabilidade, e com cinco assinaturas.

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As taxas obtidas por todas as abordagens foram consideradas relativamente altas, porém dentro dos limites aceitáveis para um protótipo inicial.

A definição do limiar a ser utilizado é a questão mais importante do sistema, visto que ele vai determinar a veracidade das assinaturas que serão submetidas ao sistema.

As assinaturas cujas amostras foram mais diferentes entre si tiveram o valor do limiar mais alto, possibilitando assim mais erros na verificação.

Primeiramente, decidiu-se replicar a abordagem do artigo original, para tentar alcançar resultados diferentes e significativos entre o uso do algoritmo clássico e o algoritmo com as mudanças propostas. Entretanto, os resultados obtidos foram similares, tendo diferenças pequenas.

Optou-se então por utilizar uma abordagem com cinco assinaturas no cadastro, ao invés de três, como no artigo original, buscando um melhor resultado, porém a diferença nos resultados obtidos também não foi significativa.

Notou-se em alguns casos que a diferença entre a distância da assinatura verificada e o limiar era de menos de dois décimos para mais, fazendo que a assinatura fosse considerada falsa. Ou seja, se fossem considerados alguns critérios de arredondamento, os resultados obtidos poderiam ser melhores.

Uma adaptação foi feita no protótipo para permitir a definição do limiar manualmente, na hora da verificação, simplesmente com o objetivo de analisar os resultados e, percebeu-se que quando o limiar era configurado para um valor baixo, a taxa de falsa rejeição aumentava, e quando o limiar era alto, a taxa de falsa aceitação aumentava.

Notou-se também a influência direta do método de rotação das imagens nos resultados, que para assinaturas muito fora da linha reta funcionavam bem, só que para assinaturas próximas à linha reta era feita uma rotação que ao invés de melhorar, prejudicava o alinhamento.

A utilização de papel branco, apenas com retângulos de bordas pretas para delimitar o espaço para assinatura, sem traço, teve aspectos positivos devido a não adição de dados supérfluos ao algoritmo, como o traço, que poderiam influenciar no resultado final. Contudo, a ausência do traço também teve seu aspecto negativo, pois a maioria das pessoas que assinaram perdia a noção de linha reta, e, em algumas vezes, escreviam com alinhamentos diferentes até para as palavras de nomes compostos. Por isso, a qualidade do algoritmo de rotação aliado ao método para escolher o grau da rotação, influenciou o resultado final, visto que as assinaturas nem sempre estavam inclinadas para um único lado.

IX. PROPOSTAS FUTURAS

Como possíveis evoluções para este trabalho, sugerem-se estudar novos métodos para detecção dos ângulos de rotação das imagens, diferente da forma empírica utilizada.

Também, a utilização de novas técnicas para seleção de pontos a serem levados em consideração pelo algoritmo DTW, diferente da utilizada, que foi a adição do fator de estabilidade das assinaturas.

A adoção de critérios de arredondamento de valores das distâncias também seria interessante, devido a grande quantidade de assinaturas que foram erroneamente

classificadas devido a diferenças pequenas em casas decimais de seus valores.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Piyush Shanker and A.N. Rajagopalan, "Off-line signature verification using DTW", *Pattern Recognition Letters*, 28 (12), pp. 1407-1414, Março 2007.
- [2] Kaustubh R. Kale, "Dynamic Time Warping", <http://www.cnel.ufl.edu/~kkale/dtw.html>, acessado em Março de 2009, às 00h.
- [3] Müller, Meinard, "Information Retrieval for Music and Motion", Springer; 1th edition, 2007, pp. 69-82.
- [4] Gustavo Poli, Alexandre L. M. Levada, João F. Mari, José Hiroki Saito, "Voice Command Recognition with Dynamic Time Warping (DTW) using Graphics Processing Units (GPU) with Compute Unified Device Architecture (CUDA)", 19th International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, 2007. SBAC-PAD 2007, pp. 19-25.
- [5] Néstor Becerra Yoma, "Reconhecimento Automático de Palavras Isoladas: Estudo e Aplicação dos Métodos Determinísticos e Estocástico", Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica, Departamento de Comunicações, 1993.
- [6] Cory Myers, Lawrence R. Rabiner and Aaron E. Rosenberg, "Performance Tradeoffs in Dynamic Time Warping Algorithms for Isolated Word Recognition", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Volume 28, Issue 6, 1980, pp: 623 – 635.
- [7] Hiroaki Sakoe, Seibi Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition", *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Volume: 26, 1978, pp: 43-49.
- [8] Edson J.R. Justino a, Flávio Bortolozzi, Robert Sabourin. "A comparison of SVM and HMM classifiers in the off-line signature verification". *Pattern Recognition Letters* 26 (2005), 1377–1385.
- [9] Ng Geuk See, Ong llee Seng. "A neural network approach for off-line signature verification". *Proceedings. Computer, Communication, Control and Power Engineering*, 1993.
- [10] J. P. Drouhard, R. Sabourin, M. Godbout. "A neural network approach to off-line signature verification usin Directional PDF". *Pattern Recognition*, Vol. 29, No. 3, pp. 415 424, 1996
- [11] Maya V. Karki, K. Indira, Dr. S. Sethu Selvi. "Off-Line Signature Recognition and Verification using Neural Network". *International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications* 2007.
- [12] Meenakshi K. Kalera. "Off-line Signature Verification and Identification using Distance Statistics". *International Journal of Pattern Recognition and Articial Intelligence* Vol. 18, No. 7 (2004) 1339-1360.
- [13] Robert Sabourin, Member, IEEE, Ginette Genest, and Françoise J. Prêteux. "Off-Line Signature Verification by Local Granulometric Size Distributions". *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, VOL. 19, NO. 9, SEPTEMBER 1997
- [14] B. Fanga, C.H. Leungb*, Y.Y. Tangc, K.W. Tseb, P.C.K. Kwokd, Y.K. Wonge. "Offline signature veri!cation by the tracking of feature and stroke positions". *Pattern Recognition* 36 (2003) 91 – 101.
- [15] A. El-Yacoubi, E. J. R. Justino, R. Sabourin, and F. Bortolozzi. "Off-line Signature Verification using HMMs and Cross-valuation".
- [16] Gilda Maria Souza Friedlaender, Édís Mafra Lapolli, Celso Antonio Alves Kaestner. "Verificação de Assinaturas Manuscritas Off-line: Uma abordagem utilizando modelos estatísticos".
- [17] J. Vélez, et al., Fuzzy shape-memory snakes for the automatic off-line signature verification problem, *Fuzzy Sets and Systems* (2008), doi: 10.1016/j.fss.2008.05.021