STRABISMUS MOBILE: UM APLICATIVO PARA DIAGNÓSTICO DE ESTRABISMO

Thales L. A. Valente[1], João D. S. de Almeida[2], Aristófanes C. Silva[3], Jorge A. M. Teixeira[4], Marcelo Gattass[5]

[1]Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Brasil
[2]Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: O processamento de imagens médicas vem contribuindo na redução de incertezas no diagnóstico de anomalias no corpo humano. No entanto, não é uma realidade a utilização de ferramentas computacionais de baixo custo no diagnóstico de estrabismo, uma patologia que afeta aproximadamente 4% da população provocando problemas estéticos e visuais. **Objetivo:** apresentar um aplicativo para diagnóstico automático do estrabismo através do Teste de Hirschberg. **Métodos:** executado em 8 etapas: Aquisição de Imagens (1), Segmentação da Face (2), Detecção da Região dos Olhos (3), Localização dos Olhos (4), do Limbo (5) e do Brilho (6), Detecção (7) e Diagnóstico (8) do Estrabismo. **Resultados:** foram obtidos 100% de especificidade, 96,96% de sensibilidade e 97,36% de acerto na detecção do estrabismo e demonstrou 93,75% de precisão na identificação de esotropias, 100% em exotropias, 71,43% em hipertropias e 62,67% em hipotropias. **Conclusão:** o aplicativo mostrou-se promissor como uma ferramenta de auxílio ao diagnóstico de estrabismo.

Palavras Chave: Processamento de Imagem Assistida por Computador, Estrabismo

Abstract: *The medical image processing has been contributing in the reduction of uncertainty in the diagnosis of abnormalities in the human body. However, there is still a need for low-cost computational tools in the diagnosis of strabismus a problem which affects approximately 4% of the population resulting aesthetic and visual problems.* ***Purpose:*** *An application for automatic diagnosis of strabismus through Hirschberg test.* ***Methods:*** *run 8 steps: Image Acquisition (1), Face Segmentation (2) Detection of Eye Region (3) Location of Eye (4), Limbus (5) and Brightness (6), Detection (7) and Diagnosis (8) of Strabismus.* ***Results:*** *we obtained 100% specificity, sensitivity of 96.96 % and 97.36 % accuracy and was demonstrated to be 93,75% accurate in esotropias identification, 100% for exotropias, 71,43% for hypertropias and 62,67% for hypotropias.* ***Conclusion:*** *The application has shown promise as a tool to aid the diagnosis of strabismus.*

Keywords: *Image Processing, Computer-Assisted, Strabismus*

Introdução

O Estrabismo é uma condição na qual a linha de visão de um olho não fixa no objeto de interesse que ambos os olhos estão visualizando(1). Estudos indicam que o estrabismo pode ter um impacto negativo sobre a qualidade de vida de crianças e adultos no que concerne a desconfortos psicológicos ou incapacidade de realizar atividades normais causada pela diplopia binocular[1] referente ao estrabismo(1-2). Um dos exames utilizados pelos especialistas para diagnosticar o estrabismo é o Teste de Hirschberg(3), que consiste em incidir um foco de luz nos olhos do paciente, a fim de verificar o alinhamento do reflexo gerado em ambos os olhos com seus respectivos centros.

Existem muitas regiões, distantes dos centros urbanos, que não possuem serviço oftalmológico especializado, o que dificulta o acesso ao diagnóstico e tratamento do estrabismo. Mesmo nas

1 Diplopia ou visão dupla é a percepção de duas imagens a partir de um único objeto.

regiões que não possuem este problema, durante o procedimento cirúrgico de correção de estrabismo, o médico não dispõe de quase nenhum recurso para avaliação do estrabismo. Por isso, nas avaliações pré, durante e pós cirurgia do estrabismo acabam sendo feitas apenas pelo método de Hirschberg de forma empírica, o que torna suas medidas menos confiáveis. Consequentemente, em ambos os casos, têm-se a necessidade de uma ferramenta computacional móvel e portátil para realização do diagnóstico. No primeiro caso, seria útil como uma ferramenta de triagem de pacientes. Já no segundo caso, uma ferramenta assim seria muito útil para melhorar a confiabilidade das medidas e a praticidade do exame.

Sistemas de detecção e diagnóstico auxiliado por computador (respectivamente CAD – Computer-Aided e CADx – Computer-Aided Diagnosis) são ferramentas computacionais que têm sido propostas com o objetivo de auxiliar o especialista, indicando áreas suspeitas ou até mesmo fornecendo diagnósticos. Na literatura, existem alguns trabalhos voltados ao diagnóstico em imagens de estrabismo utilizando o Teste de Hirschberg. Lorenzi[4] desenvolveu um aplicativo para dispositivos móveis baseados em Android para detecção de estrabismo, utilizando a câmera deste para a aquisição das imagens. Foram utilizadas 52 imagens de 21 pessoas, sendo que destas, apenas 3 possuíam estrabismo. O autor obteve de taxa de acerto de 85,71% ou 18 pacientes na realização do exame.

Almeida et al.[5] propuseram um método para detecção e diagnóstico de estrabismo baseado no Teste de Hirschberg. Restringindo-se à posição primária do olhar (PPO), posição de interesse para este trabalho, Almeida *et al.*[12] obteve 96,97% de taxa de acerto na detecção de estrabismo, em 33 imagens de pacientes. Para o diagnóstico, obteve as taxas de acerto de 92,85% em ET (esotropia – desvio para dentro), 100% em XT (exotropia – desvio para fora), 66,67% em hipertropia (HT – desvio para cima) e hipotropia (HoT – desvio para baixo) e 6,66% para os que não apresentavam desvios (ORTO – sem desvio).

Seo et al.[6] propuseram um método para diagnóstico de estrabismo em vídeos digitais através de uma combinação do Cover Test Alternado com o Teste de Hirschberg, utilizando um óculos com obturador de cristal líquido e uma câmera infravermelho. Quando o obturador fecha, este bloqueia a luz visível e deixa passar a luz infravermelha. Em seguida, o grau e direção de desvio são calculados a partir da diferença entre o centro da pupila e o reflexo presente no olho gerado pela luz.

O objetivo e a principal contribuição deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema CADx *mobile,* isto é, um aplicativo para dispositivos móveis para auxílio ao diagnóstico médico de estrabismo. O nosso aplicativo foi desenvolvido para o ambiente Android e utiliza um método, adaptado do trabalho de Almeida et al.[5], baseado no Teste de Hirschberg, capaz de detectar e diagnosticar automaticamente o estrabismo sem a necessidade de instrumentos adicionais para tal tarefa. Nas próximas seções, serão apresentados os métodos e os materiais utilizados neste trabalho, os resultados obtidos e discussões sobre o mesmo e a conclusão.

Métodos

O processo de desenvolvimento do aplicativo foi organizado em 8 etapas, sendo a primeira manual, as etapas (4) e (6) com a possibilidade de serem realizadas de forma automática ou semiautomática e, as demais, automáticas. A metodologia utilizada neste trabalho é baseada no trabalho de Almeida et al.[5], com adaptações ao ambiente Android. A Figura 1 ilustra a sequência das etapas de execução do aplicativo.

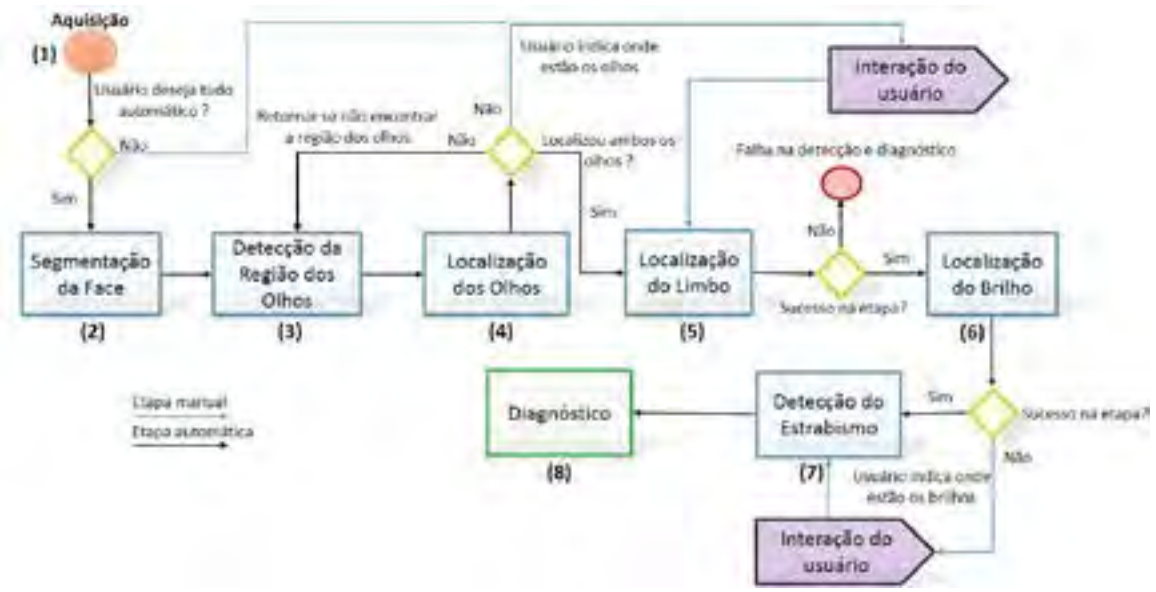


Figura 1: Sequência das etapas de execução do aplicativo.

Uma vez realizada a aquisição das imagens (1), primeiramente são realizadas a Segmentação da Face (1), a Detecção da Região dos Olhos (2) e a Localização dos Olhos (4) com o objetivo de reduzir o espaço de busca. Caso o aplicativo não consiga localizar adequadamente os olhos, o usuário pode optar por indicar a localização dos olhos, não executando, assim, as 3 etapas iniciais. As próximas etapas são a Localização do Limbo (5) e Localização do Brilho (6), necessárias para a verificação do alinhamento de ambos os olhos. A etapa (6) também pode ser executada de forma manual, caso haja falha por parte da execução automática desta etapa. As últimas etapas são a Detecção (7) e Diagnóstico (8) de Estrabismo, onde a primeira consiste em quantificar o desvio e inferir a presença ou ausência de estrabismo e a segunda consiste em classificar o tipo do estrabismo. As subseções seguintes apresentam o protocolo de aquisição a ser seguido na utilização do aplicativo, a metodologia utilizada e as funcionalidades do aplicativo.

Protocolo de Aquisição - Neste trabalho, utilizamos a base de imagens de pacientes em PPO elaborada por Almeida et al.[5] para realização de testes do aplicativo. Esta base é privada. Todos os pacientes que concordaram em participar do estudo assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Além deste, obteve-se aprovação do comitê de ética em pesquisa do Hospital Universitário Federal do Maranhão, através do parecer Nº 331/09, para realização de estudos utilizando imagens de seres humanos. Ao total, a base possui 45 imagens adquiridas na resolução de 2048 x 1536 *pixels*.

O protocolo estabelece que a aquisição das imagens deve ser realizada a uma distância de aproximadamente 40-50cm do paciente e com a câmera configurada com *zoom* óptico 3x. Além disso, a câmera deve estar posicionada à frente do paciente que, por sua vez, deve permanecer com o rosto centralizado e olhando para a objetiva da câmera. O ambiente deve estar com a luz ligada, sem foco de luz complementar que não seja o *flash* da câmera. Caso o paciente utilize lentes corretivas, a foto deve ser adquirida com as mesmas.

Funcionamento do Aplicativo - A arquitetura do aplicativo está dividida em 3 camadas: a camada de hardware, a camada de infraestrutura e a camada de aplicação. A camada de aplicação corresponde à aplicação em si. A camada de hardware contém os dispositivos físicos que a aplicação acessa. Porém, esta camada é acessada diretamente apenas pela camada de infraestrutura, que gerencia toda a comunicação e funcionamento das outras camadas. A Figura 2 ilustra, através de um diagrama de blocos de arquitetura, a arquitetura do aplicativo.

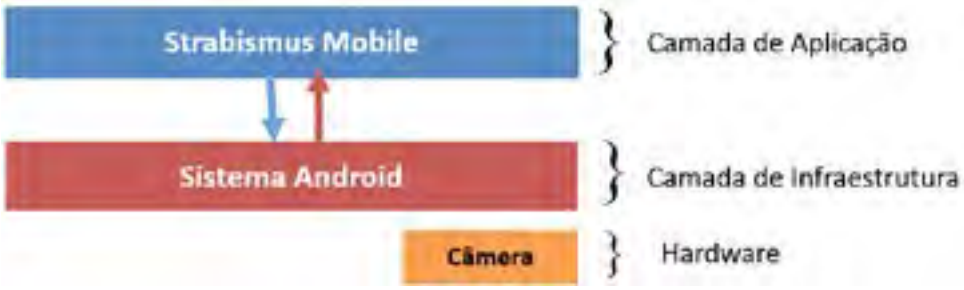


Figura 2: Diagrama de blocos da arquitetura do Aplicativo

O sistema Android permite que aplicativos iniciem outros aplicativos através de mensagens enviadas ao sistema. O sistema os inicia, para que estes executem alguma tarefa e retorne dados ao aplicativo que o invocou. Aproveitando-se disto, o aplicativo fornece a opção para que o usuário inicie um aplicativo de galeria, para que seja selecionada uma imagem dentre as armazenadas no dispositivo. Há ainda a opção de iniciar um aplicativo de câmera, para que o usuário faça a captura da imagem.

Com o objetivo de facilitar o uso do aplicativo ao carregar a imagem, este acessa os metadados da imagem[2] após a aquisição ser realizada, verifica a informação de orientação do dispositivo móvel no momento da captura, e rotaciona a imagem para que fique a 0 graus, caso necessário. A resolução da imagem deve ser igual ou superior a 2048 x 1536 *pixels*. Caso seja superior, é realizado o redimensionamento da imagem de forma automática. No entanto, é necessário que, independente da resolução, ela esteja na proporção 4:3. As etapas posteriores à etapa de aquisição (segmentação da face, detecção da região dos olhos, localização automática dos olhos e localização automática do limbo e do brilho) seguiram o método proposto por Almeida et al.[(5)] para imagens em PPO.

Em caso de falha na etapa de localização automática dos olhos, o usuário pode interagir com o aplicativo para indicar qual o lado da face irá trabalhar e, através de toque simples (toque com um único dedo) na imagem, indicar a localização do olho correspondente. Feito isso, é desenhada uma janela de dimensões 241x241 *pixels*. Esta dimensão da janela foi estipulada empiricamente, seguindo o protocolo de aquisição estabelecido. O usuário pode, também, optar por esta abordagem quando desejar uma resposta mais rápida do aplicativo, visto que não serão executadas as etapas de detecção da face, detecção da região dos olhos e localização automática dos olhos.

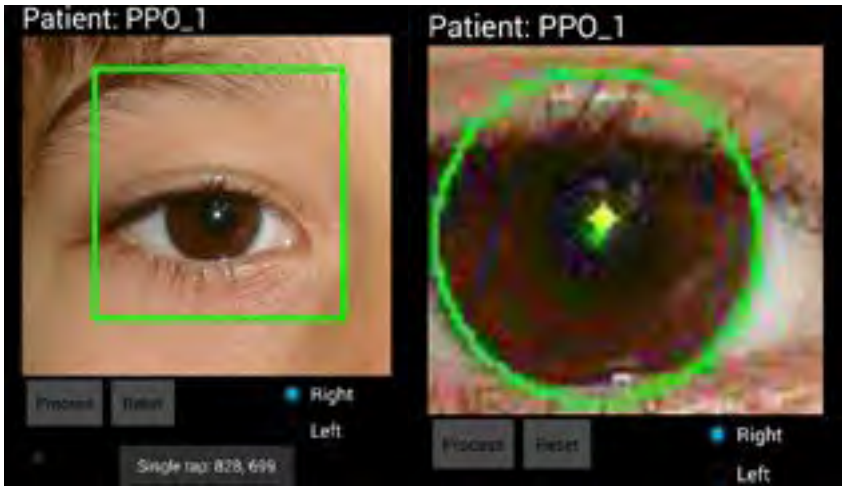
Outra funcionalidade é que, em caso de falha na detecção automática do brilho após o sucesso na localização do limbo (região limítrofe entre a esclera, região esbranquiçada, e a íris, região pigmentada), o usuário pode interagir com a imagem para indicar as localizações dos brilhos. Neste caso, ele seleciona com qual dos olhos ele irá trabalhar e, através de um pressionamento longo (tempo de no mínimo 2 segundos) sobre a imagem, indica a localização do brilho, que será marcado. Ainda, o aplicativo permite ao usuário realizar ajustes de *zoom* na imagem através de multitoque (toque realizado utilizando mais de um dedo), onde o usuário aplica o *zoom in* (ampliar) afastando os dedos entre si e o *zoom out* (reduzir) aproximando-os. O *zoom* máximo da janela foi ajustado para 128x, facilitando a seleção do local, visto que o tamanho do brilho é muito pequeno. Feito isto, o usuário solicita o diagnóstico ao aplicativo. A Figura 3 ilustra estes cenários. Em caso de falhas nas seleções manuais, o usuário pode optar por resetá-las tocando no botão “Resetar”.

A Figura 3(a) mostra a localização do olho direito de um paciente sendo localizado de forma manual, com a imagem ampliada para facilitar a localização. Na região inferior da imagem são mostrados os valores x e y da coordenada onde o usuário tocou. Já a Figura 3(b) mostra a localização

2 Metadados da imagem são informações sobre a imagem ou dispositivo de aquisição utilizado, como data e hora da aquisição, modelo, lente utilizada e orientação do dispositivo.

do brilho contido no olho do mesmo paciente da imagem anterior, que foi ampliada para facilitar a localização do brilho pelo usuário.

A detecção do estrabismo é realizada utilizando-se a localização do reflexo luminoso gerada pelo *flash* da câmera no olho do paciente e a localização do limbo como parâmetros de verificação do alinhamento de ambos os olhos. Esta etapa tem o objetivo de avaliar a medida do desvio através do calculo da magnitude do desvio entre o centro do limbo de cada olho e o centro de seus respectivos brilhos. Considerou-se que o diâmetro do limbo real equivale a aproximadamente 11mm e que cada milímetro de desvio equivale a 15Δ, valores em que Almeida et al.[5] obtiveram os melhores resultados. Um paciente é considerado estrábico se possui desvio maior ou igual a 10Δ.



(a) (b)

Figura 3: (a) Olho direito do paciente sendo localizado manualmente pelo usuário. (b) Brilho contido no olho direito do paciente sendo localizado manualmente pelo usuário representado pelo ponto amarelo.

O diagnóstico do estrabismo consiste em identificar o olho fixador e o tipo de desvio do olho desviado. O olho que apresentar a menor magnitude é considerado o olho fixador. Feito isto, o próximo passo é identificar o tipo do estrabismo no olho desviado, que pode ser esotropia ou desvio para dentro, exotropia ou desvio para fora, hipertropia ou desvio para cima, hipotropia ou desvio para baixo e ortotropia ou sem desvio (ORTO).

A Figura 4 mostra as telas do aplicativo após a solicitação do diagnóstico. A tela do aplicativo é dividida em duas regiões [A] e [B], delimitadas em laranja. A região [A] possui duas páginas móveis {I} e {II}, delimitadas de azul nas Figuras 4(a) e 4(b), no qual o usuário pode alternar entre elas deslizando o dedo na tela para esquerda ou para a direita. Essa região consiste na apresentação da imagem e diagnóstico obtido e interação do usuário com a imagem.

Referente à página {I}, ao pressionar o botão [1], a imagem é processada, o diagnóstico é realizado e apresentado na página {II} e a imagem resultante do processamento é exibida em [5]. Caso o usuário deseje retornar à imagem original, devido a erros ao realizar a localização manual dos olhos ou brilhos, o botão [2] deve ser pressionado. Os botões de seleção [3] devem ser usados para indicar qual olho o usuário irá interagir, caso deseje executar alguma etapa manualmente. Em [4] é apresentado o nome do arquivo da imagem e em [5] é apresentada a região de visualização de imagens adquiridas ou processadas.

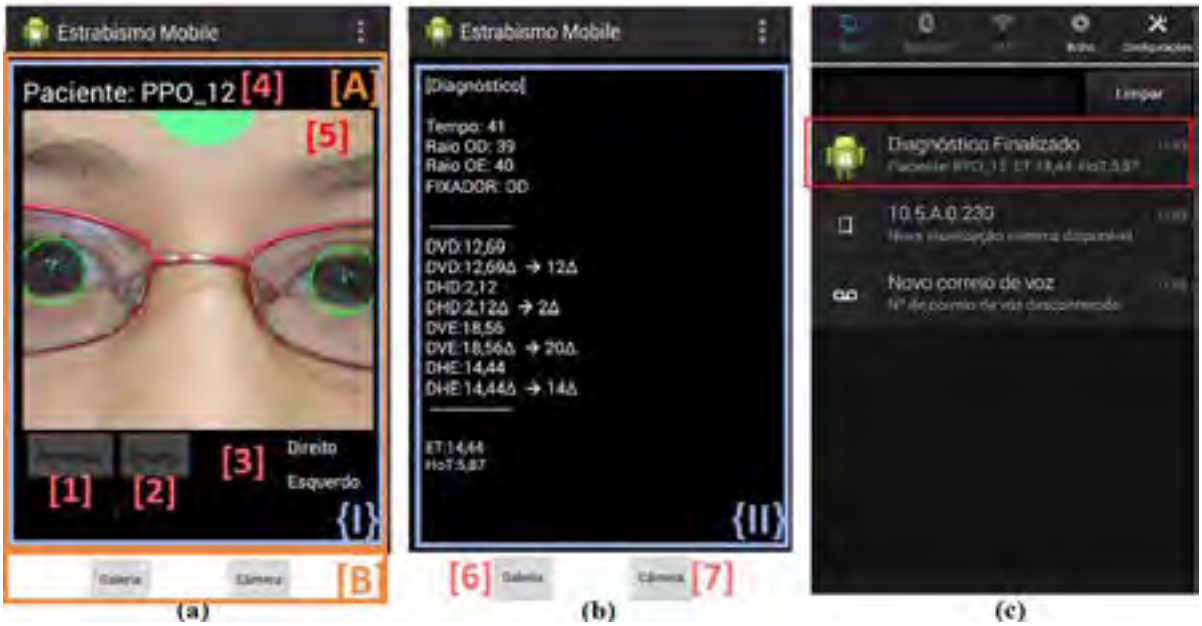


Figura 4: (a) Tela mostrando o resultado do processamento na imagem. (b) Tela de diagnóstico do aplicativo. (c) Notificação do aplicativo com diagnóstico na barra de notificações do sistema (demarcado de vermelho).

Referente à região [B], que é fixa independentemente de qual página está apresentada na tela, os botões [6] e [7] são responsáveis pela aquisição de imagens. Caso elas já estejam no dispositivo, o usuário pressiona o botão [6] para fazer chamada à galeria de imagens. Ao ser selecionada uma imagem da galeria, a imagem é apresentada em [5]. Caso a aquisição deva ser realizada através da câmera do dispositivo, o usuário pressiona o botão [7] e a câmera é iniciada. Ao realizar a captura da imagem, a imagem é apresentada em [5].

Resultados e Discussão

Esta seção apresenta os resultados dos experimentos realizados com o Aplicativo. Os experimentos foram realizados utilizando um *smartphone* Sony Xperia ZQ com processador 1,5 GHz Qualcomm APQ8064 Quad Core, 2GB de memória RAM com sistema operacional Android 4.3.

Foram consideradas 38 das 45 imagens de pacientes, ou seja, 84,44% das imagens, a partir da etapa de detecção do estrabismo. As imagens que foram excluídas desta fase foram as que estavam sem foco, sem diagnóstico do especialista ou ainda que o limbo não foi bem detectado. Tais imagens foram consideradas nas etapas anteriores a fim de que se pudesse avaliar os resultados obtidos nestas. Para analisar a detecção do estrabismo nas imagens consideradas, foram utilizadas as métricas estatísticas sensibilidade, especificidade e acurácia, que são comumente utilizados para analisar o quão bom é um diagnóstico, segundo Zhu *et al.* [8]. Assim, o aplicativo obteve 96,96% de sensibilidade, 100% de especificidade e 97,36% de acerto, sendo obtidos 32 verdadeiros positivos, 0 falsos positivos, 5 verdadeiros negativos e 1 falso negativo.

Segundo os estudos de Choi e Kushner[8], especialistas experientes estimaram desvios com erro médio de 5 a 10Δ. Assim, considerando tal erro e devido à subjetividade do teste de Hirschberg, utilizou-se a tolerância de erro de 10Δ para avaliar o valor estimado pelo método em relação à medida do especialista. A Tabela 1 mostra os resultados do aplicativo e do especialista nas aferições dos desvios verticais (DV) e horizontais (DH) para as imagens de pacientes. São demarcados, com cores diferenciadas, os pacientes em que se utilizou as abordagens manuais.

Tabela 1: Aferições dos desvios (DV e DH) pelo aplicativo e pelo especialista. Nos pacientes demarcados de vermelho foi utilizada a abordagem manual do brilho, nos de azul a abordagem manual do limbo e, nos de lilás, ambas.

	Aplicativo	Especialista	Erro	Aplicativo	Especialista	Erro
Pacientes	**DH**	**DH**		**DV**	**DV**	
1	6,11	10	3,89	3,06	0	3,06
2	9,82	0	9,82	1,96	0	1,96
3	27,5	25	2,5	8,42	0	8,42
4	55	50	5	29,98	0	29,98
5	51,56	50	1,56	6,38	0	6,38
6	44	40	4	0,62	0	0,62
7	26,81	30	3,19	5,84	15	9,16
8	39,72	55	15,28	10,08	15	4,92
10	24,44	20	4,44	18,33	15	3,33
11	48,36	55	6,64	20,53	10	10,53
12	14,44	15	0,56	5,87	0	5,87
14	27,5	25	2,5	0,24	0	0,24
15	41,25	45	3,75	3,14	0	3,14
16	30,25	30	0,25	5,67	0	5,67
17	25,21	35	9,79	2,29	0	2,29
18	18,05	30	11,95	0,16	0	0,16
19	33	50	17	7,33	0	7,33
21	24,94	30	5,06	0,09	0	0,09
22	28,99	35	6,01	11,15	10	1,15
23	36,67	45	8,33	11,7	0	11,7
25	11,46	20	8,54	4,58	0	4,58
26	16,99	25	8,01	0,13	0	0,13
27	22,5	20	2,5	2,79	6	3,21
28	44	50	6	1,2	0	1,2
29	12	15	3	0	0	0
30	10,76	20	9,24	5,86	10	4,14
31	20,07	35	14,93	6,69	0	6,69
32	20,12	30	9,88	2,39	5	2,61
33	11,79	20	8,21	1,96	0	1,96
34	16,5	15	1,5	2,17	0	2,17
37	16,04	20	3,96	0	0	0
38	13,75	20	6,25	1,53	4	2,47
39	31,22	35	3,78	0	0	0
40	16,92	20	3,08	6,19	10	3,81
41	6,69	0	6,69	2,23	0	2,23
42	6,69	0	6,69	2,23	0	2,23
43	6,69	0	6,69	2,23	0	2,23
44	7,33	0	7,33	3,67	0	3,67

Em relação a detecção de estrabismo, um dos motivos da alta acurácia é devido ao baixo limiar para

se considerar um paciente estrábico - maior que 10Δ. Tomando por exemplo o paciente 11, o especialista aferiu DH de 55Δ e o aplicativo aferiu 48,36Δ. Caso o aplicativo aferisse, por exemplo, 25Δ, este ainda seria contabilizado como acerto em relação ao paciente ser ou não estrábico. Outro motivo configura-se no baixo erro médio para aferição de DHs e DVs na execução de todas as etapas de forma automática por exemplo, que foram de 6,85 e 5,12, respectivamente. Tais valores foram menores do que a tolerância de erro - 10Δ. No entanto, um caso em que poderia ocorrer erro na detecção de estrabismo, por exemplo, seria se o paciente 12, que foi diagnosticado com 15Δ pelo especialista, fosse diagnosticado pelo aplicativo com 9Δ ao invés de 14,44Δ. Neste caso fictício, o aplicativo diagnosticaria como não estrábico um paciente estrábico.

O aplicativo obteve baixa acurácia para pacientes sem desvios (ORTO), como mostram os valores da Tabela 2. Segundo Almeida et al.[5], isto pode ser explicado pelo grau de precisão do método utilizado em relação à avaliação realizada pelo especialista, que normalmente afere desvios em múltiplos de 2 para desvios menores que 10Δ e múltiplos de 5 para os maiores que 10 Δ, desconsiderando assim desvios pequenos, diagnosticando o paciente como ORTO. Além disso, há também o erro médio descrito por Choi e Kushner[15] já mencionado. A Tabela 2 mostra as taxas de acerto do aplicativo em relação ao diagnóstico de estrabismo feito pelo especialista.

Tabela 2: Resultado do diagnóstico na identificação dos desvios (ET, XT, HT, HoT, e ORTO) e olho fixador.

Diagnóstico	Nº de Imagens	ET	XT	HT	HoT	ORTO	Fixador
Automático	35	93,33%	100%	71,43%	66,67%	10%	88,57%
Manual	38	93,75%	100%	71,43%	66,67%	8,32%	92,10%

Em relação a diferença no diagnóstico de olho fixador, entre as abordagens adotadas, temos 1 caso particular. O paciente 1, relativo a abordagem automática de localização do brilho, obteve os DV de cada olho igual ao DH do outro, segundo a Tabela 3. Fazendo o cálculo para detecção do olho fixador temos como resultado que ambos os olhos são fixadores, visto que não há diferença na magnitude dos desvios destes (distância euclidiana – Dist - utilizando o desvio vertical e o desvio horizontal). Após a utilização da abordagem manual do brilho, houve diferença de magnitude e, por isto, o erro quanto ao diagnóstico do olho fixador deixou de existir.

Tabela 3: Caso particular em relação a diferença no diagnóstico do olho fixador utilizando a detecção manual e automática do brilho para os olhos esquerdo (E) e direito (D).

	Δ						
	DVD	DHD	DistD	DVE	DHE	DistE	FIXADOR
Automática	6,11	3,06	6,83	3,06	6,11	6,83	AMBOS(erro)
Manual	9,17	3,06	9,66	6,11	6,11	8,64	OE (acerto)

Conclusão

Este trabalho apresentou um aplicativo para diagnóstico automático de estrabismo em imagens digitais através do Teste de Hirschberg. Nos experimentos realizados, o aplicativo obteve 97,36% de acerto na detecção do estrabismo e demonstrou 93,75% de precisão na identificação de esotropias, 100% em exotropias, 71,43% em hipertropias e 62,67% em hipotropias, em comparação com os

diagnósticos fornecidos pelo especialista. Diante dos resultados obtidos, observou-se a viabilidade do aplicativo como uma ferramenta de auxílio ao diagnóstico de estrabismo.

A principal contribuição deste trabalho é a disponibilidade do diagnóstico do estrabismo em um sistema CADx *mobile*, podendo este ser utilizado por especialistas nas avaliações pré, durante e pós cirurgia do estrabismo, melhorando a confiabilidade das medidas fornecendo uma segunda opinião para o mesmo. Além disto, também pode ser utilizado por quaisquer usuários sem conhecimento aprofundado sobre estrabismo ou teste de Hirschberg, com objetivo de triagem em locais com déficit de especialistas. Para utilização do aplicativo, é necessário apenas um dispositivo móvel equipado com câmera e com o sistema operacional Android, não necessitando de quaisquer equipamentos adicionais. O nosso trabalho possui uma melhor validação em comparação com Lorenzi[(4)], é mais prático de ser utilizado em comparação com Almeida et al.[(5)] e é mais simples e acessível em comparação com Seo et al.[(6)].

Como propostas de trabalhos futuros para melhorar a validação do aplicativo, citamos: (1) a realização de testes de usabilidade e (2) a ampliação da base de imagens. Como propostas de trabalhos futuros com o intuito de adicionar funcionalidades ou melhorias ao aplicativo, citamos: (1) o desenvolvimento de um módulo de câmera que se configure automaticamente às necessidades do protocolo de aquisição para evitar que o usuário utilize uma configuração inadequada e (2) o compartilhamento dos resultados, tanto em imagens quanto textual via aplicativo, tais como: Whatsapp, Gmail e Dropbox.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ, CAPES, FAPEMA e TECGRAF/PUC-Rio pelo apoio financeiro.

Referências

[1] Johns HA, Manny RE, Fern KD, Hu YS. The effect of strabismus on a young child's selection of a playmate. Ophthalmic and Physiological Optics. 2005;25(5):400-407.

[2] McBain, HB, Au CK, Hancox J, MacKenzie KA, Ezra DG, Adams GG, Newman SP. The impact of strabismus on quality of life in adults with and without diplopia: a systematic review survey of ophthalmology. 2014;59(2): 185-191.

[3] Eskridge J, Wick B, and Perrigin D. The Hirschberg test: a doublemasked clinical evaluation. American J of Optometry and Physiological Optics, 1988;65(9): 745.

[4] Lorenzi RM. Software de Detecção de Estrabismo usando Dispositivos Móveis. [monografia]. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau - Graduação em Ciência da Computação; 2014.

[5] Almeida JDS, Silva AC, Teixeira JAM, Paiva AC, Gattass M. Computer-Aided Methodology for Syndromic Strabismus Diagnosis. J of Digital Imaging. 2015;*28*(4):462-473.

[6] Seo MW, Yang HK, Hwang JM, Seo JM. (2015) "The Automated Diagnosis of Strabismus Using an Infrared Camera", In: *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering.* Springer International Publishing.

[7] Zhu W, Nancy Z, Ning W. Sensitivity, specificity, accuracy, associated confidence interval and ROC analysis with practical SAS® implementations. NESUG proceedings: health care and life sciences, Baltimore, Maryland: 1-9, 2010.

[8] Choi RY, Kushner BJ. The accuracy of experienced strabismologists using the hirschberg and krimsky tests. Ophthalmology. 1998;105(7):1301-1306.

Contato

Thales L. A. Valente
Mestrando da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Brasil
Fone: (98) 98160-7976
E-mail: selaht7@gmail.com

João D. S. de Almeida
Doutor da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Brasil
Fone: (86) 98256-5465
E-mail: jdallyson@ufma.br

Aristófanes C. Silva
Doutor da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Brasil
Fone: (86) 3272-9288
E-mail: ari@dee.ufma.br

Jorge A. M. Teixeira
Doutor da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Brasil
Fone: (86) 98124-6776
E-mail: jorgemeireles1@bol.com.br

Marcelo Gattass
Doutor da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, Brasil
Fone: (21) 3527-1500 ramal 4358
E-mail: mgattass@inf.puc-rio.br