

Aplicativo Android para classificação de fitas indicadoras de pH

Suzete Élide Nóbrega Correia ^[1], Luana Rodrigues Barros ^[2], Gabriel Gutierrez Pereira Soares ^[3], Adriano Júnio de Souza Soares ^[4]

[1] suzete@ifpb.edu.br. [2] rodrigues.93@live.com. [3] gabriel.soares@ifpb.edu.br. [4] soares.93@outlook.com. Instituto Federal da Paraíba - João Pessoa (IFPB).

RESUMO

O potencial hidrogeniônico (pH) é um dos principais parâmetros de qualidade em diversas indústrias, tais como a alimentícia, de bebidas e de tratamento de água. Alguns métodos de determinação de pH, como a fita indicadora, são mais acessíveis e podem ser realizados por qualquer pessoa. Entretanto, esse tipo de análise depende exclusivamente da qualidade da visão humana, que pode, em alguns casos, estar prejudicada devido à idade, fadiga ocular ou doenças que comprometam a vista. Este trabalho apresenta a construção de um aplicativo Android capaz de identificar o pH em uma fita indicadora por meio do processamento de imagem.

Palavras-chave: Processamento de imagem. pH. Fitas indicadoras de pH. Aplicativo. Android.

ABSTRACT

pH is one of the main quality indicators used in several industries such as food, beverage and water treatment. Some pH measurements methods are more affordable than others and can be easily used by anyone. The pH test strips can be highlighted as one of the best techniques. At the same time, this kind of analysis relies on the human vision condition that may be compromised in some cases due to aging, eye fatigue or vision-related diseases. This work presents the development of an Android app capable of classifying a pH strip according to its reference chart using image processing techniques.

Keywords: *Image processing, pH, pH strips, app, Android.*

1 Introdução

A medição do pH é de fundamental importância para diversas áreas, tais como química, biologia e agricultura. Sorensen (1909 *apud* Lobo, 1991) definiu o pH como o logaritmo do inverso da concentração hidrogeniônica $[H^+]$ de uma solução aquosa. Quanto mais íons de hidrogênio contidos na substância, mais ácida é a solução e, conseqüentemente, menor o pH. Em contrapartida, quanto menos íons desse elemento, mais alcalina é a solução e maior o pH.

Na indústria de alimentos, por exemplo, o estudo realizado por Koutsoumanis, Kendall e Sofos (2003) demonstra como as bactérias do tipo *Listeria monocytogenes* podem adquirir resistência a níveis de acidez maiores que a média populacional desses microrganismos, podendo, assim, acarretar em gerações de indivíduos super-resistentes. Já a água fornecida pelas empresas de abastecimento, utilizada pela população, deve ter seu nível de pH controlado de forma a minimizar problemas como a corrosão e a incrustação das tubulações. A corrosão é ocasionada por baixos valores de pH, podendo ser resultante da acidez carbônica ou mineral. A incrustação é decorrente da precipitação de cátions em altas temperaturas e está relacionada com valores elevados de pH. A incrustação formada em um sistema de distribuição de água pode acarretar o bloqueio do sistema de tubulações, a perda de pressão da água devido à redução do diâmetro dos dutos, um alto custo devido a reparos contínuos, entre outros efeitos (BRASIL, 2014).

Na química, diversas análises adotam cores como indicadores, tendo a visão humana como a principal ferramenta para a classificação dessas cores. Algumas substâncias sofrem alteração de cor dependendo das características físico-químicas da solução na qual estão contidas. De acordo com Terzi e Rossi (2002), isso ocorre devido a diversos fatores, tais como alteração no pH, no potencial elétrico, na complexação com íons metálicos e na adsorção em sólidos. A utilização de fitas que contêm reagentes, cuja tonalidade modifica-se de acordo com o nível de íons H^+ da substância, é uma das maneiras mais simples e acessíveis de medir o pH. Assim, o valor do parâmetro é determinado pela combinação das tonalidades dos reagentes adotados no modelo de fita utilizado.

Nos seres humanos, a visão desempenha inúmeros papéis, estando entre uma das mais importantes capacidades sensoriais de percepção do ambiente.

Ela envolve diversas funções complexas, tais como detecção, localização, reconhecimento e interpretação de objetos no ambiente (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008). Entretanto, há algumas atividades que exigem um esforço ocular intenso, como tarefas repetitivas ou exposição prolongada a telas retroiluminadas de dispositivos eletrônicos. Condições como essas podem acarretar fadiga ocular, causando, conseqüentemente, uma má execução das principais funções exercidas pela visão e, portanto, uma interpretação equivocada de cores, objetos e/ou espaços.

Além disso, segundo Barry *et al.* (2017), a visão também pode ser comprometida por doenças ou condições genéticas; uma das anomalias mais notáveis é o daltonismo, que caracteriza-se pela incapacidade de discernir certas cores e, em sua forma mais comum, pela dificuldade de distinguir entre o verde e o vermelho. De acordo com a pesquisa realizada por Barry *et al.* (2017), tal deficiência congênita de visão de cores afeta aproximadamente 8% dos homens e 0,4% das mulheres, em escala global.

Apesar das vantagens, a análise do pH utilizando a fita indicadora é baseada na mudança de cor e depende principalmente da capacidade visual do observador. Dessa forma, a interpretação da cor pode estar comprometida devido às disfunções oculares como as citadas anteriormente, impossibilitando que a leitura do resultado seja realizada corretamente.

Nesse contexto, é possível afirmar que a tecnologia digital pode atuar de várias formas a fim de auxiliar as pessoas em suas atividades cotidianas. Uma dessas atuações ocorre por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI), que permite o uso de algoritmos computacionais para a detecção, reconhecimento e interpretação de objetos em uma imagem. Como a classificação das fitas indicadoras de pH é realizada com base nas cores percebidas pela visão, a análise depende, em grande parte, da condição e da saúde ocular do observador. O PDI, portanto, pode ser utilizado para suplantar as limitações físicas da visão, de forma que proporcione uma capacidade para obtenção de resultados precisos e satisfatórios.

As vantagens provindas do processamento de imagens se tornam ainda mais acessíveis quando combinadas com o uso de dispositivos móveis. A maioria desses dispositivos é equipada com sensores — como câmera e GPS, bem como unidades de processamento robustas —, permitindo a execução de tarefas complexas e garantindo mobilidade aos usuários. De acordo com a Corporação Internacional

de Dados (*International Data Corporation - IDC*), em torno de 84,8% de todos os dispositivos móveis vendidos em 2018 usam Android como seu sistema operacional (IDC, 2018).

Vuong, Chan e Lau (2009) apresentam uma aplicação para estimação de níveis de pH empregando imagens obtidas por câmeras digitais (não calibradas) de telefones celulares. Técnicas de processamento digital de imagens, como filtros de Sobel, para detecção de bordas e análise local da similaridade de bordas vizinhas são utilizadas para a segmentação das áreas de interesse em fitas de pH. A aplicação foi testada em três diferentes modelos de aparelhos — Sony Ericsson K750i, Nokia N81 e Nokia E61 — e desenvolvida no ambiente Netbeans 6.0.1 IDE Editor. Os testes foram conduzidos em 9 soluções com níveis de pH variando na faixa de 1,679 a 9,18. Os resultados experimentais alcançados indicam que os níveis de pH reportados pelo software são consistentes, entretanto o tempo de processamento foi de aproximadamente 100 segundos e as imagens de fitas que estiveram inclinadas mais de 7 graus angulares em relação ao eixo horizontal não conseguiram ser processadas.

No intuito de diminuir o tempo de processamento, Vuong, Chan e Lau (2010), em outro trabalho, empregaram a quantização de cores. Essa nova abordagem teve melhor desempenho em termos de processamento, precisão de classificação e robustez em comparação com a solução anterior. No entanto, sua principal desvantagem foi o maior consumo de memória.

Recentemente, Kim, Koo e Yun (2017) propuseram um método para detecção colorimétrica de pH utilizando smartphones Android. A solução apresentada possui, como limitação, a necessidade de um ambiente controlado, como uma câmara escura criada por impressão 3D para controlar a luminosidade e definir um padrão de posicionamento da fita. Nos testes, foram empregadas 4 imagens de cada uma das 5 soluções com pH de 1,68; 4,01; 7,00; 10,01 e 12,46. Apesar do bom desempenho, a criação de um objeto de considerável complexidade para aquisição das imagens dificulta a acessibilidade do aplicativo em questão.

A pesquisa apresentada neste artigo teve como principal enfoque a implementação de um aplicativo Android que fosse capaz de medir e classificar os níveis de pH sem a necessidade de calibração da câmera ou o controle da luminosidade durante a aquisição das imagens das amostras. As fitas empregadas utilizaram

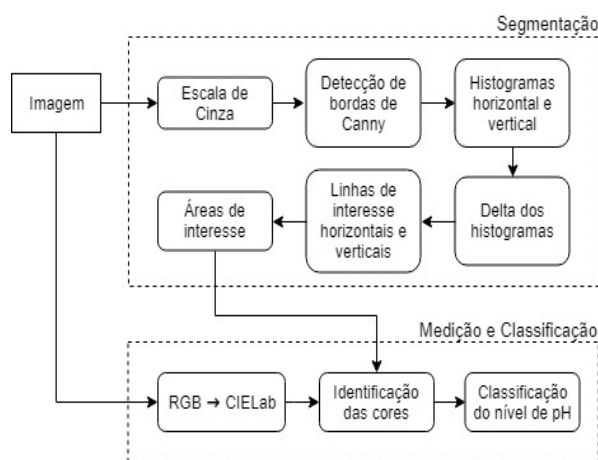
quatro reagentes cuja combinação de cores identificou cada nível de pH, como apresentado no trabalho realizado por Kim, Koo e Yun (2017), diferente das utilizadas no estudo de Vuong, Chan e Lau (2009), cujo nível de pH foi interpretado a partir da alteração da cor em um único reagente. O algoritmo de detecção de bordas de Canny, histogramas verticais e horizontais, bem como a identificação e classificação de cores foram empregadas para estimar o nível de pH.

O texto do artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 2 são apresentados os materiais e métodos empregados, na seção 3 os resultados alcançados são exibidos e, por fim, na seção 4 são discutidas as considerações finais.

2 Materiais e métodos

No diagrama de blocos da Figura 1, são apresentadas as etapas do processamento de imagem, as quais podem ser divididas em dois conjuntos principais: “segmentação” e “medição e classificação do pH”. Essas etapas são abordadas detalhadamente nas subseções posteriores.

Figura 1 – Visão geral do processamento da imagem para classificação do pH.



Fonte: Elaboração própria.

2.1 Fita de teste de pH

As fitas indicadoras de pH são filetes de papel que contêm pedaços de papéis indicadores químicos de pH. Essas porções da fita determinam se uma solução é ácida, básica ou neutra, após a sua imersão na solução (ou no meio) em que se deseja conhecer o pH. Após estabelecido o contato físico, os indicadores

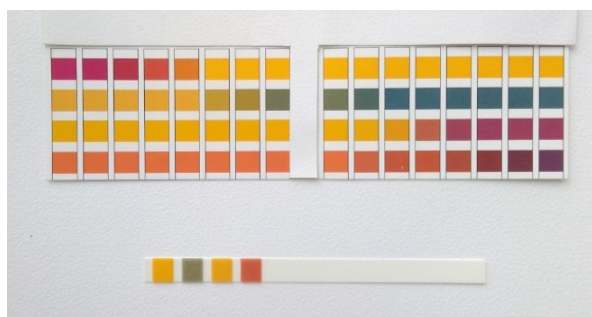
reagem e têm suas cores alteradas de acordo com as características do meio testado.

As fitas são acompanhadas de uma cartela de referência, que indica as possíveis cores que os reagentes podem assumir e os valores de pH correspondentes às combinações das cores de todos os reagentes. As fitas utilizadas nesse estudo são fabricadas pela Macherey-Nagel de referência 92110 (Mach), que utilizam 4 reagentes e abrangem uma faixa de medição entre os valores 0 e 14. Por limitações próprias do sistema de medição por meio das fitas, os resultados obtidos nas leituras não detêm números decimais, apenas inteiros.

2.2 Segmentação

A Figura 2 ilustra uma das imagens utilizadas nesta pesquisa como dado de entrada, que é usada como exemplo para demonstrar os passos necessários para fazer a segmentação. A fita embebida na substância, cujo pH deseja-se identificar, encontra-se na parte inferior da imagem, enquanto na parte superior está disposta a cartela de referência, com as informações do fabricante ocultas por uma máscara de papel sobreposta. Antes da detecção de bordas, as imagens são redimensionadas, mantendo a proporção, de forma que o lado horizontal possua 800 pixels. Tal redimensionamento visa diminuir o tempo de processamento, sem comprometer o resultado final.

Figura 2 – Fita de medição de pH com cartela de referência.



Fonte: Elaboração própria.

A primeira etapa do processamento da imagem é a execução do algoritmo de detecção das bordas, primordial ao desenvolvimento desta pesquisa. Gonzales e Woods (2010) definem uma linha como um segmento de borda cuja intensidade do fundo de cada lado é, ou muito superior, ou muito inferior, à intensidade dos seus pixels. Dessa forma, a detecção

de bordas é uma operação que identifica mudanças bruscas na variância dos tons de cinza de uma imagem monocromática, que, por sua vez, pode ser descrita por meio do conceito de derivada (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008).

O operador gradiente, descrito na Equação 1, quando aplicado a uma função multivariável, indica a direção na qual a função apresenta a maior derivada para cada ponto, ou seja, a direção na qual os níveis de cinza sofrem maior variação.

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} i + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} j \quad (1)$$

Nesse contexto, o operador Canny utiliza um algoritmo para executar a detecção de bordas. O detector de bordas de Canny (1986) é um filtro de convolução que usa a primeira derivada para suavizar o ruído e localizar bordas, por meio da combinação de um operador diferencial com um filtro Gaussiano.

De acordo com Canny (1986), há três critérios básicos para que ocorra a detecção de borda com sucesso. O primeiro critério é definido como a taxa de erro, cujo fator importante é a maximização da razão sinal-ruído. Quanto maior essa razão, maior será a probabilidade da detecção da borda. A Equação 2 representa a razão sinal-ruído, na qual é a amplitude do degrau da borda, a amplitude do ruído e é a seção limitante da resposta ao impulso do filtro, sendo a resposta ao impulso e sua derivada.

$$SNR = \frac{A}{n_0} \times \frac{\left| \int_{-W}^0 f(x) dx \right|}{\sqrt{\int_{-W}^W f'^2(x) dx}} \quad (2)$$

O segundo critério mencionado diz respeito à localização, que é definida como o inverso da distância entre o ponto detectado pelo algoritmo e sua respectiva posição na imagem original, cujo objetivo é minimizar a distância entre os pontos extraídos pelo detector. Na Equação 3, é apresentada a relação matemática do critério de localização.

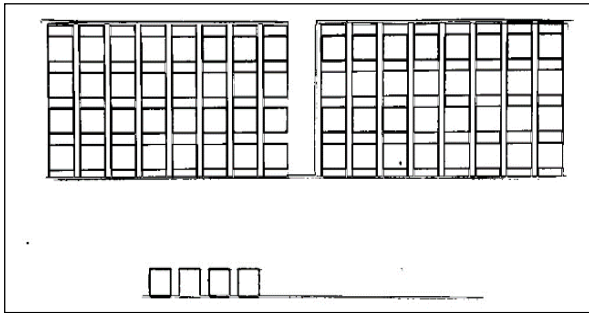
$$L = \frac{A}{n_0} \times \frac{|f'(0)|}{\sqrt{\int_{-W}^W f'^2(x) dx}} \quad (3)$$

O terceiro critério do filtro consiste na resposta múltipla, isto é, deve haver apenas um único ponto de borda em uma única borda verdadeira. Na Equação 4, define-se a expressão matemática para essa distância como sendo:

$$X_{max} = 2\pi \left(\frac{\int_{-\infty}^{\infty} f'^2(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} f''^2(x) dx} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Assim, as equações previamente demonstradas têm a mesma relação de proporção, ou seja, quanto maior o fator medido, melhor será o filtro aplicado. Na Figura 3, é apresentado o resultado da aplicação do filtro de Canny na fita de medição de pH com cartela de referência (Figura 2).

Figura 3 – Fita de medição de pH com cartela de referência utilizando algoritmo Canny.



Fonte: Elaboração própria.

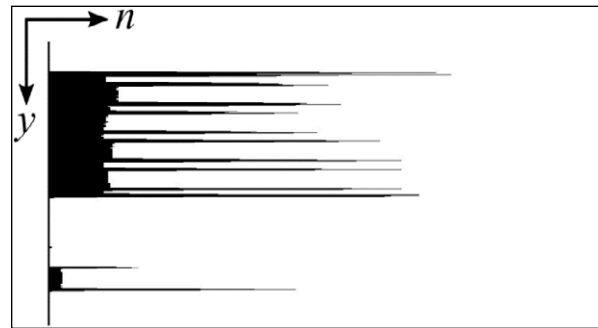
2.3 Refinamento da segmentação

A fim de refinar a segmentação da imagem, é necessário manter apenas as linhas que delimitam as áreas da imagem que são relevantes para a identificação do pH. Para detectar as linhas horizontais que delimitam as áreas de interesse, foi realizado um histograma horizontal (VUONG; CHAN; LAU, 2009) da imagem após a aplicação do filtro Canny. A construção desse histograma baseia-se na contagem da quantidade de pixels de borda em cada linha da imagem (eixo y). A Figura 4 ilustra o resultado do histograma horizontal da fita de medição de pH com cartela de referência utilizando algoritmo Canny (Figura 3).

De forma análoga ao histograma horizontal, é construído um histograma vertical (VUONG; CHAN; LAU, 2009) para contar a quantidade de pixels de borda nas colunas da imagem. Entretanto, os procedimentos

utilizados para a análise das colunas são executados, separadamente, para cada uma das partes da imagem (cartela de referência e fita amostrada), visto que as linhas que delimitam as áreas de interesse são diferentes para cada uma delas. A Figura 5 ilustra o histograma vertical da fita de medição de pH com cartela de referência utilizando algoritmo Canny (Figura 3), em que n_r é o número de pixels da referência e n_s o número de pixels da amostra.

Figura 4 – Histograma horizontal.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 5 – Histograma vertical.



Fonte: Elaboração própria.

O próximo passo é eliminar as linhas indesejáveis dos histogramas horizontal e vertical. Como o histograma é um vetor de frequências, pode-se definir um operador delta (de acordo com a Equação 5), cujo n é a quantidade de elementos do vetor, com n . Após a obtenção do operador delta, uma função de corte também é aplicada (definida na Equação 6) com a finalidade de desconsiderar pequenas variações.

$$\dot{X}(i) = X(i + 1) - X(i), i = \{1, 2 \dots n - 1\} \quad (5)$$

$$L(x, l) = \begin{cases} 0 & x < l \\ x & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

Dessa maneira, o delta do histograma horizontal pode ser representado pela Equação 7:

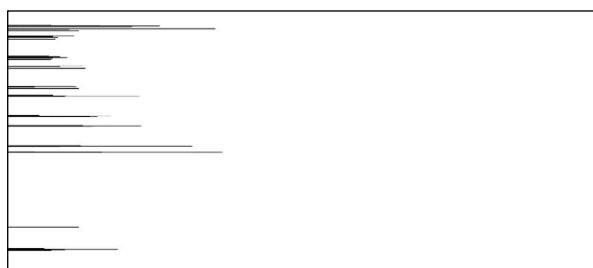
$$H_L = L(\dot{H}, l) \tag{7}$$

Já o delta do histograma vertical é representado pela Equação 8:

$$V_L = L(\dot{V}, l) \tag{8}$$

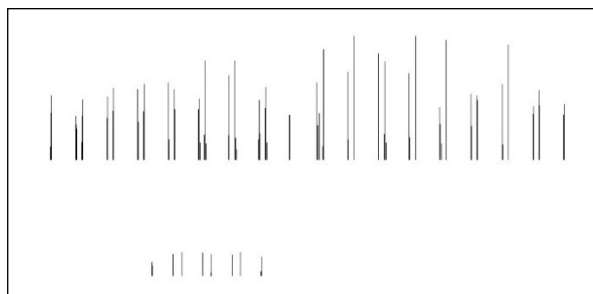
Para um limiar arbitrário de da função de corte, os deltas obtidos a partir dos histogramas horizontal e vertical, que estão apresentados nas Figuras 4 e 5, podem ser vistos, respectivamente, nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Delta do histograma horizontal.



Fonte: Elaboração própria.

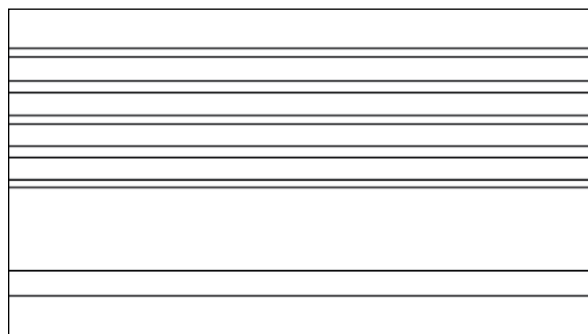
Figura 7 – Delta do histograma vertical.



Fonte: Elaboração própria.

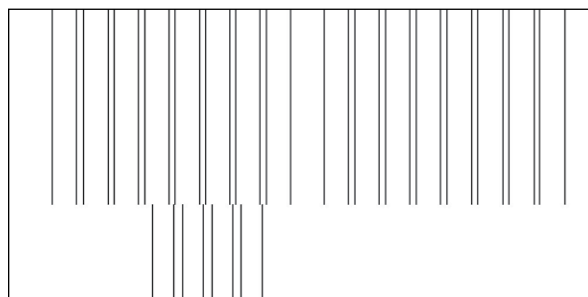
Para cada grupo de deltas nos histogramas horizontal e vertical, foram mantidas as linhas com maior frequência de pixels. Em seguida, a linha que divide as partes superior e inferior da imagem (cartela e amostra) foi estabelecida como sendo a linha central do maior espaço entre as linhas de interesse horizontais. A Figura 8 ilustra o resultado obtido a partir do delta do histograma horizontal e, analogamente, a Figura 9 ilustra o resultado obtido a partir do histograma vertical.

Figura 8 – Linhas de interesse horizontais.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 9 – Linhas de interesse verticais.



Fonte: Elaboração própria.

O cruzamento das linhas de ambos os histogramas compõe a segmentação das regiões que delimitam as cores usadas na classificação do pH. O resultado é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Segmentação da fita de medição de pH com cartela de referência.



Fonte: Elaboração própria.

2.4 Identificação e classificação das cores

Nesta seção, é descrito o processo de identificação das cores da cartela de referência e da fita indicadora para uma correta classificação do pH.

A primeira etapa é a conversão da imagem para o espaço de cores CIE L*a*b* (CIELAB), que pode ser

descrito como um espaço de cores visíveis ao olho humano, projetado para servir como um modelo independente de dispositivo para ser usado como referência (BALDEVBHAI; ANAND, 2012).

Para cada uma das áreas segmentadas, identificadas na Figura 10, executa-se um filtro em duas etapas. A partir da média da cor dos pixels da região de interesse, calcula-se uma nova média apenas com os pixels cuja distância euclidiana, definida na Equação 9, não exceda um limiar estabelecido.

$$d(p, \bar{m}) = \sqrt{(L - \bar{L})^2 + (a - \bar{a})^2 + (b - \bar{b})^2} \quad (9)$$

Por fim, para determinar o valor de pH ao qual a amostra se refere, adota-se a soma das distâncias entre as médias de cores de cada área. A Equação 10 indica que para cada coluna da cartela de referência é somado o módulo da diferença entre as médias dos quadrados da fita *MF* e os equivalentes da referência *MR*.

$$D(j) = \sum_{i=1}^4 |MF_i - MR_{i,j}| \quad (10)$$

2.5 Análises

Os parâmetros utilizados para expressar a eficiência do algoritmo estão expressos de forma quantitativa na Seção 3. Os dados obtidos foram baseados na coleta de amostras de fitas indicadoras com diferentes valores de pH. Em laboratório, foram obtidas 10 imagens de fitas indicadoras de pH após serem imergidas em soluções com diferentes concentrações de ácido sulfúrico e hidróxido de sódio. O processo de obtenção dos diferentes valores de pH das soluções deu-se por meio da diluição do ácido sulfúrico e hidróxido de sódio e aferição dos valores utilizando o pHmetro, modelo mPA-210P fabricado pela MS Tecnopon Instrumentação, para uma melhor exatidão e precisão do valor de pH.

Posteriormente, a fita indicadora foi embebida na solução por até três segundos e, depois, retirada para que os reagentes adquirissem as tonalidades referentes ao pH em questão. Após a alteração da cor dos reagentes encontrados nas fitas, a fita indicadora é colocada sobre um fundo branco e, em

seguida, uma imagem é obtida por meio do dispositivo móvel (Xiaomi Redmi 4A, com sistema operacional Android 7.1). Assim, o resultado é comparado aos valores correspondentes de forma visual, tendo como referência a tabela de cores da própria marca, e com os valores obtidos utilizando o pHmetro.

A medição e a obtenção do resultado de pH, adotando fitas medidoras de pH, devem ser realizadas de forma imediata, pois, após um intervalo curto de tempo, os reagentes das fitas perdem a sua tonalidade da medição realizada. As medições foram realizadas conforme instruções do fabricante Macherey-Nagel (2018).

3 Resultados da pesquisa

As amostras coletadas foram processadas por um dispositivo móvel com o sistema operacional Android nativo. Todo o processamento das amostras é realizado no dispositivo móvel por meio do aplicativo desenvolvido na elaboração deste trabalho. Todo o processo previamente detalhado na Figura 1 será seguido para a obtenção dos resultados.

Na Tabela 1, é apresentado um comparativo entre o pH demonstrado de forma visual pela fita indicadora (1), o valor medido utilizando o pHmetro (2) e o pH determinado pelo algoritmo desenvolvido (3).

Tabela 1 – Segmentação da fita de medição de pH com cartela de referência.

Amostra	1	2	3
01	7	7,75	7
02	9 - 10	10,26	9
03	9 - 10	10,4	10
04	7 - 8	8,05	7
05	8 - 9	9,05	8
06	9 - 10	9,05	9
07	3 - 4	2,88	5
08	4	4	4
09	7	7	7
10	1	1,57	1

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos valores examinados na Tabela 1, alguns pontos devem ser observados. Visualmente não foi possível determinar um valor exato para as

amostras de 02 a 07, visto que as cores dos quadrados das fitas tendem a ser semelhantes para valores adjacentes, além de que alguns valores medidos, de acordo com o pHmetro, são intermediários entre os valores apresentados pela referência. Todavia, é possível observar que a confiabilidade ainda é alta se comparados os valores obtidos, com o software desenvolvido, aos valores medidos com o pHmetro. Outro aspecto demonstrado na Tabela 1 é a ausência de alguns valores de amostras de pH, devido à dificuldade de estabilizar o pH das soluções preparadas.

De forma geral, observa-se que o algoritmo se comportou de maneira esperada e a maioria dos resultados obtidos foram satisfatórios. Dentre eles, podem ser destacadas as amostras 08 e 09, cujos testes foram realizados com soluções tampão, isto é, que possuem valores de pH de referência. Em termos de precisão, 90% do total de dez amostras coletadas para o desenvolvimento do software tiveram o pH aferido corretamente pelo algoritmo. Apenas uma amostra apresentou o resultado de medição inconsistente, possivelmente relacionada ao intervalo de tempo entre a retirada da solução na amostra da fita e a obtenção da sua imagem. Esse erro pode ocorrer quando as soluções são pouco tamponadas, ou seja, quando variam o seu pH rapidamente.

Trabalhos anteriores, como o de Vuong, Chan e Lau (2009), alcançaram uma precisão de 77,77% quando empregadas imagens de resolução de 320 x 240 pixels. Já o proposto por Kim, Koo e Yun (2017) apresenta um erro médio de $0,05 \pm 0,05$ a $0,22 \pm 0,08$ na comparação dos valores do pH ideal com o valor estimado pelo software.

4 Considerações finais

O aplicativo Android desenvolvido, cujo funcionamento foi descrito neste artigo, provou-se eficiente em 9 dos 10 casos submetidos a testes controlados em laboratório. Essa aplicação é especialmente útil para pessoas idosas, que sofrem de fadiga ocular ou que possuem algum tipo de comprometimento na visão.

Dentre algumas limitações encontradas nesse software, destacam-se a necessidade de um plano de fundo branco, no qual devem ser posicionadas a fita e a referência, e a impossibilidade de fazer o processamento da imagem com os elementos não alinhados horizontalmente. Além disso, deve-se aumentar o universo de amostras coletadas para cada

índice de pH, atestando assim uma taxa de precisão e assertividade do algoritmo em questão.

Futuramente, espera-se adaptar essa tecnologia para dispositivos móveis com diferentes sistemas operacionais, de forma que possa ser mais acessível para a população, além de implementar a identificação de pH para outros modelos e marcas de fitas indicadoras, bem como para correção das limitações citadas anteriormente. Pretende-se também investigar a interferência da frequência e do comprimento de onda das cores no aplicativo desenvolvido.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), campus João Pessoa, em especial ao Laboratório de Monitoramento de Águas pela disponibilização do ambiente, pela assistência, pelos materiais e equipamentos.

Agradecemos ao Centro de Informática, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), campus João Pessoa, por acolher este trabalho na disciplina de Processamento Digital de Imagens.

Agradecemos ao Instituto de Tecnologia de Tallaght (ITT) e a Micra, onde esta pesquisa foi inicialmente concebida.

Agradecemos à empresa Tratáguas Consultoria S/S Ltda pelo fornecimento de material para pesquisa.

Nosso sincero agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por fomentar esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BALDEVBHAI, P. J.; ANAND, R. S. Color image segmentation for medical images using L*a*b colour space. **IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSRJRECE)**, v. 1, n. 2, p. 24-45, 2012.

BARRY, J. A. *et al.* Development and validation of questionnaire assessing the quality of life impact of colour blindness (CBQoL). **BMC Ophthalmology**, v. 17, n. 179, p. 1-7, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. Brasília: Funasa, 2014.

CANNY, J. A Computational approach to edge detection. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. PAMI-8, n. 6, p. 679-698, nov. 1986.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

KIM, S. D; KOO, Y.; YUN, Y. A smartphone-based automatic measurement method for colorimetric pH detection using a color adaptation algorithm. **Sensors (Basel)**, v. 17, n. 7, p. 1-13, 2017.

KOUTSOUMANIS, K. P.; KENDALL, P. A.; SOFOS, J. N. Effect of food processing-related stresses on acid tolerance of *Listeria monocytogenes*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, n. 12, p. 7514-7516, 2003.

LOBO, V. M. M. O correto Significado do Conceito de pH. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**. n. 44/45 (Série II), p. 31-36, 1991.

MACHEREY-NAGEL GMBH & CO. KG. **Instructions for use REF: 92110**. Neumann-Neander Düren, German. Disponível em: http://ftp.mn-net.com/english/Instruction_leaflets/Testpapers/92110en.pdf. Acesso em: 04 nov. 2018.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de imagens digitais**. 1. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2008.

IDC SMARTPHONE OS Market Share. Disponível em: <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/os>. Acesso em: 20 nov. 2018.

TERCI, D. B. L; ROSSI, A. V. Indicadores naturais de pH: usar papel ou solução? **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 684-688, 2002.

VUONG, N. K.; CHAN, S.; LAU, C. T. Classification of pH levels using a mobile phone. *In*: 2009 IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics, 2009, Kyoto (Japan). **Proceedings [...]**. 2009, p. 823-827.

VUONG, N. K.; CHAN, S.; LAU, C. T. pH levels classification by color quantization on a camera phone. *In*: 2010 International Conference on Communications and Mobile Computing, 2010, Shenzhen (China). **Proceedings [...]**. 2010, p. 448-452.