



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

LIQUIQUALI - APLICAÇÃO PARA A ANÁLISE DE TURBIDEZ EM
AMOSTRAS DE LÍQUIDOS VIA *SMARTPHONES*

GUSTAVO FIGUEIRA LOPES

PALMAS (TO)

2020

GUSTAVO FIGUEIRA LOPES

LIQUIQUALI - APLICAÇÃO PARA A ANÁLISE DE TURBIDEZ EM
AMOSTRAS DE LÍQUIDOS VIA *SMARTPHONES*

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado
à Universidade Federal do Tocantins para
obtenção do título de Bacharel em Ciência da
Computação, sob a orientação do(a) Prof.(a)
Dr. Eduardo Ferreira Ribeiro.

Orientador: Dr. Eduardo Ferreira Ribeiro

PALMAS (TO)

2020

GUSTAVO FIGUEIRA LOPES

LIQUIQUALI - APLICAÇÃO PARA A ANÁLISE DE TURBIDEZ EM
AMOSTRAS DE LÍQUIDOS VIA *SMARTPHONES*

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, Curso de Ciência da Computação foi avaliado para a obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 15 / 12 / 2020

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Ferreira Ribeiro

Prof. Dr. Edeilson Milhomem da Silva

Prof^a. Dra. Glenda Michele Botelho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- L864l Lopes, Gustavo Figueira.
LiquiQuali - Aplicação para a Análise de Turbidez em Amostras de Líquidos via Smartphones. / Gustavo Figueira Lopes. – Palmas, TO, 2020.
61 f.
- Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Ciências da Computação, 2020.
Orientador: Eduardo Ferreira Ribeiro
1. Turbidez 2. Reflectância. 3. Câmera. 4. Qualidade da água. I. Título

CDD 004

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

*Dedico este esforço conjunto à
minha parceira de vida, e à todos
que fazem esta existência valer a
pena.*

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, é necessário agradecer à Tarsila, por me dar os todos incentivos para a conclusão deste trabalho, além da gigantesca ajuda na formatação e revisão.

Agradeço ao professor Dr. Eduardo Ferreira Ribeiro, por todo seu tempo dedicado à me ajudar e tornar este trabalho possível.

Agradeço também à imensa ajuda do professor Dr. Adão Lincon Bezerra Montel, pela consultoria com toda a parte química da aplicação.

Por fim, agradecer à minha família por me apoiar e ser meu sustentáculo no decorrer da vida.

RESUMO

A análise de amostras de líquidos, especialmente na área química, é feita por equipamentos de medição especializados como o turbidímetro, que analisa a turbidez de substâncias. Tais análises ocorrem em ambientes controlados e seus instrumentos são pouco acessíveis, seja pelo valor econômico elevado ou a dificuldade em operá-los. A turbidez, um parâmetro obtido através do turbidímetro ou nefelômetro, tem sua importância de coleta variada em diferentes escalas: desde a verificação da qualidade da água em piscinas até seu uso na indústria de alimentos como a de vinhos, cervejas e mel. Deste escopo, surge a necessidade de propor uma alternativa mais prática e corriqueira, permitindo ao usuário iniciante, uma análise rápida e acessível da turbidez através da câmera de um *smartphone* comum. Assim, este trabalho visa estudar a viabilidade de desenvolvimento de um aplicativo móvel (apelidado *LiquiQuali*) que permita medições instantâneas de líquidos com baixo custo e resultados sólidos, ainda sim com acurácia inferior a de um equipamento especializado, porém muitas vezes melhor do que o olho humano.

Palavra-chave: turbidez. reflectância. *smartphone*. câmera. qualidade da água. turbidímetro.

ABSTRACT

Liquid sample analysis, especially in the chemical area, is performed by specialized measuring equipment such as the turbidimeter, which analyzes substances turbidity. Such analyzes occur in controlled environments and use instruments that are not easily accessible, either due to their high economic value or the difficulty in operating them. Turbidity, a parameter obtained through the turbidimeter or nephelometer, has its importance in collecting different scales: from checking the water quality in swimming pools, as well as the use in the food industry such as wine, beer and honey. From this scope, the need arises to propose a more practical and common alternative, allowing the simpler user a quick and accessible analysis of turbidity through the camera of a common smartphone. Thus, this work aims to study the feasibility of developing a mobile application (named *LiquiQuali*), which can allow instant liquid measurements with low cost and solid results, yet less accurate than specialized equipment, but often better than the human eye.

Keywords: turbidity. reflectance. smartphone. camera. water quality. turbidimeter.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Definição do Problema	16
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	Trabalhos Relacionados	18
1.4	Organização do Trabalho	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1	Formalização de Turbidez	24
2.1.1	Definição	24
2.1.2	Mensurando a turbidez (Turbidímetro)	25
2.1.3	Unidades de Medição	27
2.1.4	Aplicações	29
2.1.5	HydroColor	32
2.2	Fundamentos de Processamento de Imagens	36
2.2.1	Aquisição de Imagens	36
2.2.2	Amostragem e Quantização	36
2.2.3	Representação de Imagens Digitais	37
2.2.4	Vizinhança e Conectividade	38
2.2.5	Limiarização	39
2.2.6	Subtração	40
2.2.7	Modelos e Canais de Representação de Cores	41
2.2.7.1	O Modelo RGB	41
2.2.7.2	O Modelo HSI	42

3	METODOLOGIA	44
3.1	Aquisição	45
3.2	Segmentação	45
3.3	Subtração	46
3.4	Análise da Turbidez	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1	Contraste e Escala de Cinza	50
4.2	Segmentação	51
4.3	Subtração das Imagens	52
4.4	Análise da Turbidez	53
5	CONCLUSÕES E PLANO DE SEQUÊNCIA DO TRABALHO	58
	REFERÊNCIAS	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de aquisição para processamento da turbidez no HydroColor (LEEuw; BOSS, 2018).	16
Figura 2 – Interface gráfica do HydroColor (LEEuw; BOSS, 2018)	19
Figura 3 – Tela de captura do HydroColor que apresenta resultados provenientes de uma medição (LEEuw; BOSS, 2018).	20
Figura 4 – Etapas realizadas em 3 diferentes entradas (KARNAWAT; PATIL, 2016).	21
Figura 5 – Histograma da imagem de entrada 3 (KARNAWAT; PATIL, 2016).	22
Figura 6 – Escala com diferentes amostragens de turbidez utilizando um turbidímetro.	24
Figura 7 – Turbidímetro comercial comum.	25
Figura 8 – Método de funcionamento de um turbidímetro comum (OMAR; JAFRI, 2009).	26
Figura 9 – O turbidímetro da vela de Jackson original (TURBIDITY..., 2006).	28
Figura 10 – Exemplo de rio com turbidez elevada devido a sedimentos trazidos em chuvas torrenciais (WATERSHED, 2010).	30
Figura 11 – Turbidez de uma piscina pública antes e após a limpeza (INC., 2012).	31
Figura 12 – Exemplo de imagens coletadas com HydroColor e os recursos ópticos capturados em cada imagem.	33
Figura 13 – Resposta da câmera em função do brilho (LEEuw; BOSS, 2018).	34
Figura 14 – Comparação da reflectância e turbidez medidas de vários smartphones com os mesmos locais de estudo (LEEuw; BOSS, 2018).	35
Figura 15 – Sensores e aquisição de imagens (GONZALEZ, 2019).	36
Figura 16 – Etapas de amostragem e quantização de uma imagem (GONZALEZ, 2019).	37
Figura 17 – Imagem representada de forma matricial (GONZALEZ, 2019).	38
Figura 18 – Diferentes concepções de vizinhança de pixels (OGE, 1909).	38

Figura 19 – Limiarização aplicada à digital humana (OGE, 1909).	40
Figura 20 – Exemplo de histograma resultante de duas imagens subtraídas (CROSTA, 1992).	41
Figura 21 – Cubo de cores RGB de 24 bits (GONZALEZ, 2019).	42
Figura 22 – Esquema do cubo de cores RGB (GONZALEZ, 2019).	42
Figura 23 – Modelo <i>HSI</i> (OGE, 1909).	43
Figura 24 – Fluxograma das etapas principais do aplicativo final (LiquiQuali). . .	44
Figura 25 – Diferentes níveis de limiarização utilizando as amostras da Figura 6.	46
Figura 26 – Comparação entre duas amostras a partir da subtração resultante da fotografia com e sem <i>flash</i>	47
Figura 27 – Amostras utilizadas nos testes.	50
Figura 28 – Amostras processadas em escala de cinza e com aumento de contraste.	51
Figura 29 – Amostras limiarizadas.	51
Figura 30 – Amostras utilizadas nas subtração de imagens.	52
Figura 31 – Captura de Tela de uma das amostras no HydroColor.	54
Figura 32 – Comparação entre o Turbidímetro, HydroColor e LiquiQuali.	55
Figura 33 – Amostras nos testes em ambiente não controlado.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da análise de turbidez por processamento de imagem (KARNAWAT; PATIL, 2016).	22
Tabela 2 – Unidades de medição de turbidez (EPA, 1999).	29
Tabela 3 – Tabela com parâmetros relacionados à qualidade da água em piscinas, bem como suas recomendações (PALINTEST, 2019).	32
Tabela 4 – Quantidade de pixels pretos por amostra.	52
Tabela 5 – Percentual de luminância por imagem subtraída.	53
Tabela 6 – Coeficientes padronizados pelo <i>z-score</i>	53
Tabela 7 – Resultados da análise de turbidez em ambiente não controlado. . . .	56

1 INTRODUÇÃO

A área química é tão vasta na quantidade de aplicações para a sociedade, que mesmo com a gigantesca quantidade de material e trabalhos existentes, ainda pode carecer de certas ferramentas, principalmente à medida que a computação ascende e traz consigo novas possibilidades. E é graças a esta expansão, que ferramentas e aplicações como a proveniente deste trabalho, são cada vez mais primordiais e necessárias, ao unir a computação com as demais áreas do conhecimento.

Existe um processo bastante conhecido na química ambiental, que consiste na análise das propriedades de líquidos, especialmente o parâmetro de **turbidez** da água. Este procedimento possui bastante interesse envolvido devido a sua relevância no meio científico, já que ressalta indicativos importantes sobre aquela amostragem, como sua claridade, qualidade e condições para consumo.

A ideia de realizar uma medição mais básica e rápida, não só do parâmetro de turbidez, como de outras propriedades de líquidos, é interessante não só para profissionais, como também para estudantes que não têm acesso a custosos equipamentos de medição (GILLET; MARCHIORI, 2019). Sendo assim, este trabalho foi desenvolvido no intuito de unir tanto os conceitos químicos como os de tecnologia computacional, visando trazer resultados admissíveis no cotidiano a partir da aplicação final desenvolvida.

Paralelo à turbidez e aos conceitos químicos associados, este trabalho também relaciona duas vertentes muito importantes da computação, sendo elas a **visão computacional** e o **processamento de imagens** e seus sub-campos. O processamento de imagens, sendo a essência desse trabalho, é uma área da computação voltada à aquisição, manipulação e apresentação de imagens digitais (GONZALEZ, 2019). E aliado a isso, existe a área da visão computacional, responsável pela construção de sistemas artificiais de obtenção e tratamento de dados provenientes das imagens.

Neste contexto surge a ideia do *LiquiQuali*¹, o estudo da viabilidade de um aplicativo desenvolvido em função de necessidades reais do cotidiano casual e científico, focadas na análise de líquidos utilizando simplesmente um *smartphone* com câmera.

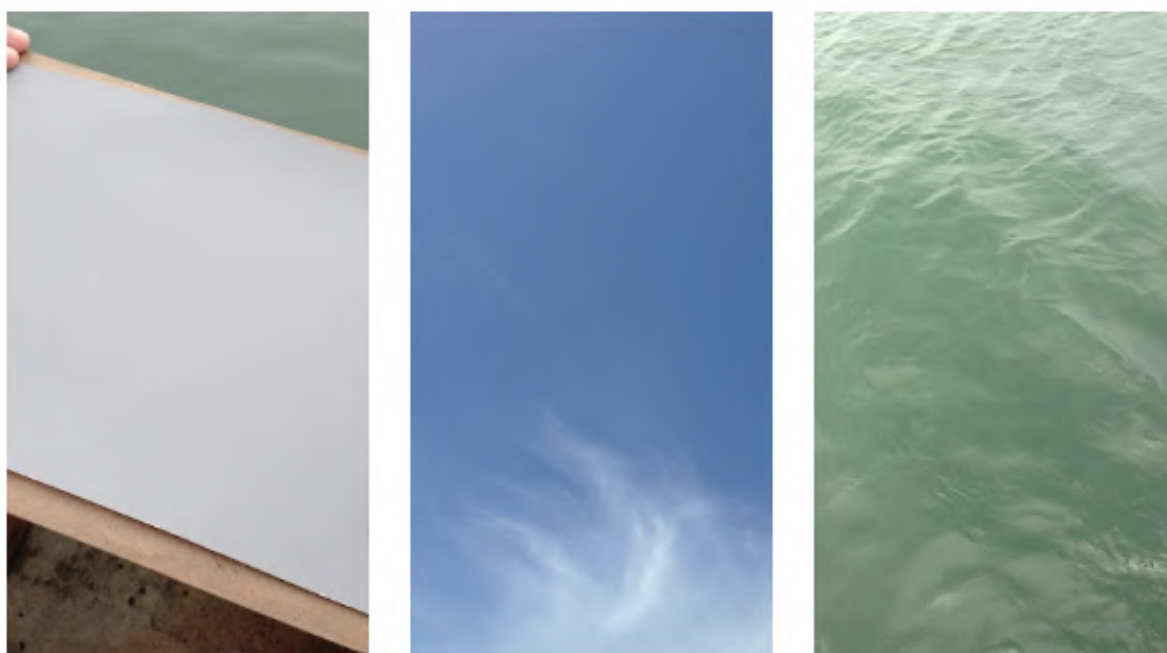
Esta ferramenta poderá ser utilizada amplamente, já que será disponibilizada em lojas de aplicativos abertas e comuns a maior parte dos usuários. No mercado, existem poucas ferramentas que fazem tarefas similares à essa, a mais notória talvez seja o **HydroColor** (LEEuw; BOSS, 2018), que é focado em grandes massas de água a céu aberto (rios, lagos, mares, etc.).

A principal diferença entre o HydroColor e o LiquiQuali, é a restrição (no caso do HydroColor) à análise de concentrações de água a céu aberto, não possuindo tanto

¹Nome comercial atribuído à aplicação final deste trabalho.

enfoque e precisão em amostras de ambiente fechado, como um simples copo ou béquer contendo água e sal. Além disso, o mesmo não possui precisão em amostras acima de 80 NTU, além de utilizar informações de coleta obrigatória como uma foto do céu, outra de um cartão cinza 18% (usado na fotografia), e por fim a foto do rio, lago ou mar. A Figura 1 simplifica os três passos de captura com exemplos de imagens fotografadas dentro do HydroColor.

Figura 1 – Etapas de aquisição para processamento da turbidez no HydroColor (LEEuw; BOSS, 2018).



O LiquiQuali servirá como uma ferramenta de grande auxílio na análise de amostras, principalmente ao se obter o parâmetro da turbidez, que será explicitado posteriormente. Esta aplicação permitirá à estudantes, pesquisadores e agricultores, mensurar a qualidade da água a qual estão trabalhando, sem precisar de grandes esforços, já que será necessário possuir apenas um *smartphone* comum com câmera.

1.1 Definição do Problema

Como já enunciado, a análise de líquidos e amostras em geral, em especial a da água, possui uma gama de aplicações que partem desde a agroindústria, até o uso em piscinas domésticas. O processo de se obter a turbidez, dentre outros parâmetros, é importante para medir a concentração de partículas suspensas e a qualidade geral da água, verificando se a mesma está apta para o consumo humano, uso em irrigação, tanques de animais, etc.

A questão central do problema é o acesso aos equipamentos que realizam estas análises.

lises, bem como a instrução necessária para operá-los. Um turbidímetro², em média, custa em torno de R\$ 2.000,00(GILLETT; MARCHIORI, 2019), sendo muitas vezes restritos à profissionais da área.

A viabilidade e desenvolvimento do **LiquiQuali** visa justamente viabilizar uma análise mais rápida e acessível a todos, já que será necessário apenas a câmera de um celular atual de nível intermediário, algo que grande parte das pessoas têm acesso.

A aplicação proveniente deste trabalho poderá servir como alternativa ou complemento ao **HydroColor** (LEEuw; BOSS, 2018), já que permitirá medição de amostras em ambientes fechados e controlados, e não apenas à corpos de água a céu aberto, além é claro, do aperfeiçoamento dos resultados e melhoria da precisão.

Visto que existem poucas soluções que atendem a este problema no segmento de aplicativos, e as que estão no mercado ou na literatura acadêmica não tem enfoque total como neste presente caso, que é a análise de líquidos em ambientes controlados de laboratório utilizando a câmera de um *smartphone*, o aplicativo LiquiQuali poderá ser único e um diferencial neste contexto associado.

1.2 Objetivos

De forma a manter a organização do projeto, os objetivos foram divididos em objetivo geral (1.2.1) e objetivos específicos (1.2.2).

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é estudar a viabilidade de uma aplicação que utilize a câmera de um *smartphone* para analisar amostras de líquidos (especialmente a água), resolvendo problemas práticos como o acesso à equipamentos caros e restritos à profissionais da área.

²Equipamento especializado para análise de turbidez utilizando um feixe de infravermelho.(GILLETT; MARCHIORI, 2019)

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

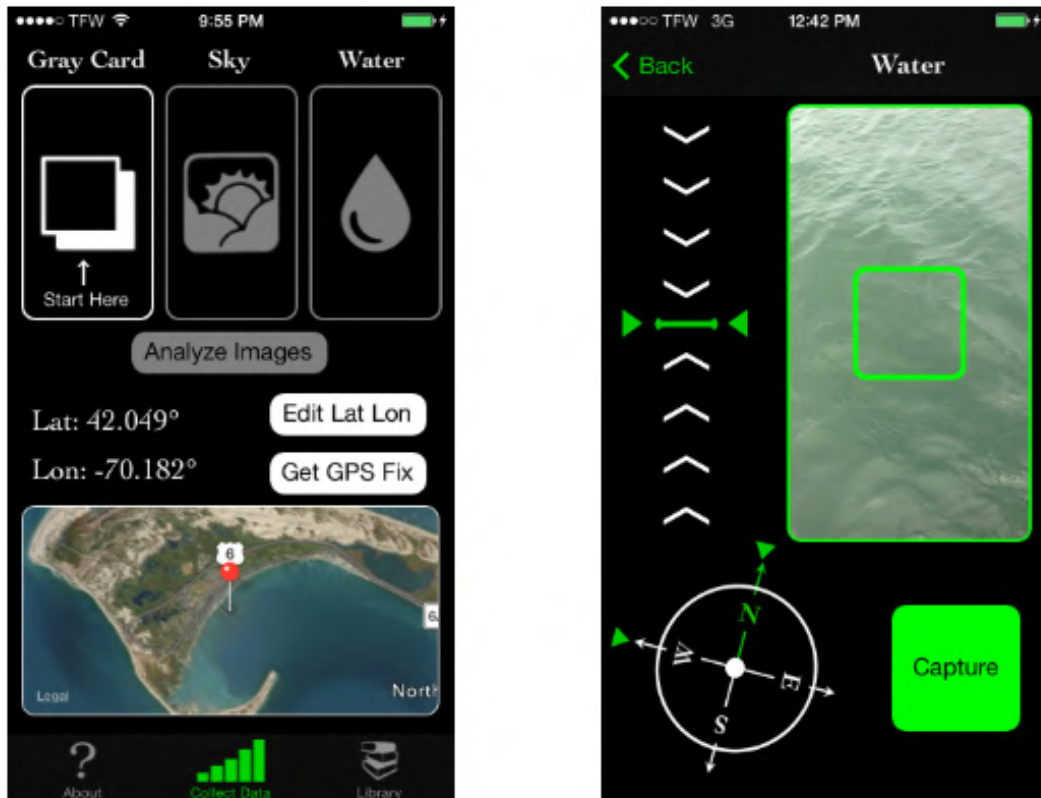
- Estudar a natureza de propriedades como a turbidez e reflectância da água.
- Analisar as fórmulas e algoritmos para calcular estes dados.
- Determinar os algoritmos a serem utilizados no aplicativo, por meio referências científicas e do próprio mercado alvo.
- Combinar os métodos já existentes com os algoritmos de processamento de imagens.
- Viabilizar o desenvolvimento de um aplicativo móvel e publicá-la no mercado de aplicativos.
- Analisar os resultados obtidos e revalidar as métricas se necessário.

1.3 Trabalhos Relacionados

A análise de turbidez é responsável por obter dados primordiais em diferentes escalas de pesquisa, sendo assim, diversos trabalhos e aplicações já foram criadas a fim de aprimorar resultados ou adaptar as medições para um escopo mais acessível.

O exemplo mais próximo é o aplicativo móvel **HydroColor**(LEEuw; BOSS, 2018), um *app* que analisa a turbidez de corpos de água a céu aberto, sendo a referência mais relevante para este trabalho. Na Figura 2 é possível visualizar a tela inicial deste aplicativo e suas funções primordiais, sendo as três fotografias para análise de turbidez e as informações de geolocalização para melhor calibragem dos resultados.

Figura 2 – Interface gráfica do HydroColor (LEEuw; BOSS, 2018)

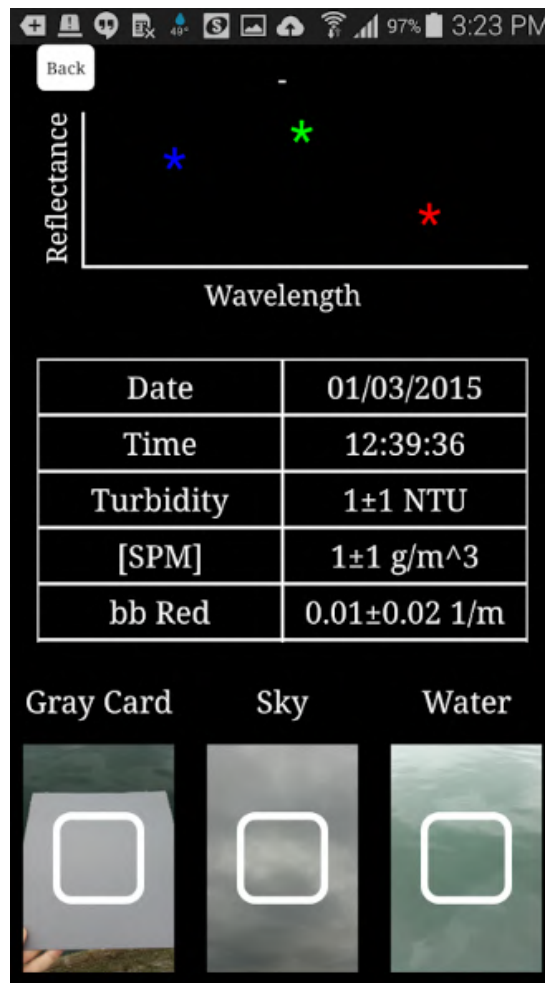


O HydroColor utiliza métodos de análise de imagem digital (GONZALEZ, 2019) que extraem informações relevantes, e processa estes dados por meio de algoritmos que combinam a análise da matriz de pixels, velocidade do obturador da câmera, *ISO*, e retornam valores de reflectância próximos dos resultados de medições obtidas com um turbidímetro.

Os resultados do HydroColor, diferente de demais aplicações deste modelo, se distinguem pelo métodos utilizados serem baseados em radiômetros reais, e não a partir da cor da imagem digital. Por mais que o HydroColor utilize as informações da câmera e do dispositivo móvel, os dados não são precisos como os de um equipamento especializado, visto que ele propõe-se a ser uma alternativa acessível e prática, objetivo similar ao deste trabalho.

A Figura 3 demonstra a tela final dos resultados obtidos da análise de uma massa de água, sendo apresentados os dados de turbidez, partículas em suspensão e data e horário da captura. A finalidade do HydroColor é semelhante a de alguns satélites: a luz que emana da água, quando normalizada pela radiação recebida, é proporcional ao coeficiente de retrodifusão da água e inversamente proporcional ao coeficiente de absorção de água (LEEuw; BOSS, 2018).

Figura 3 – Tela de captura do HydroColor que apresenta resultados provenientes de uma medição (LEEuw; BOSS, 2018).



Juntamente ao HydroColor, foi analisado também o trabalho de (KARNAWAT; PATIL, 2016), que utiliza funções mais simples de processamento para extrair valores de brilho do histograma e compará-los com uma base de dados com múltiplas amostras de turbidez já catalogadas. Deste trabalho serão utilizados os métodos pertinentes a segmentação (limiarização), contraste e a intensidade de brilho da imagem de resultado, servindo como um auxílio na mensuração da turbidez e extração das informações mais importantes da imagem.

Na Figura 4 são apresentados os estágios de processamento de três amostras do trabalho em questão, representados pela aquisição, contraste e limiarização, respectivamente. As imagens extraídas da câmera passam por basicamente dois processos de modificação: contraste em tons de cinza e limiarização. Em seguida, é identificado no histograma da imagem final, os dados de intensidade de pixels compreendidos na faixa RGB de 120 à 180 (ver Figura 5), valores esses definidos experimentalmente. Após essas informações finais de intensidade de brilho dos pixels, os valores são então comparados com uma base de dados com inúmeras outras medição de turbidez, obtendo-se assim resultados bastante

sólidos sobre um turbidímetro de laboratório (KARNAWAT; PATIL, 2016).

Figura 4 – Etapas realizadas em 3 diferentes entradas (KARNAWAT; PATIL, 2016).

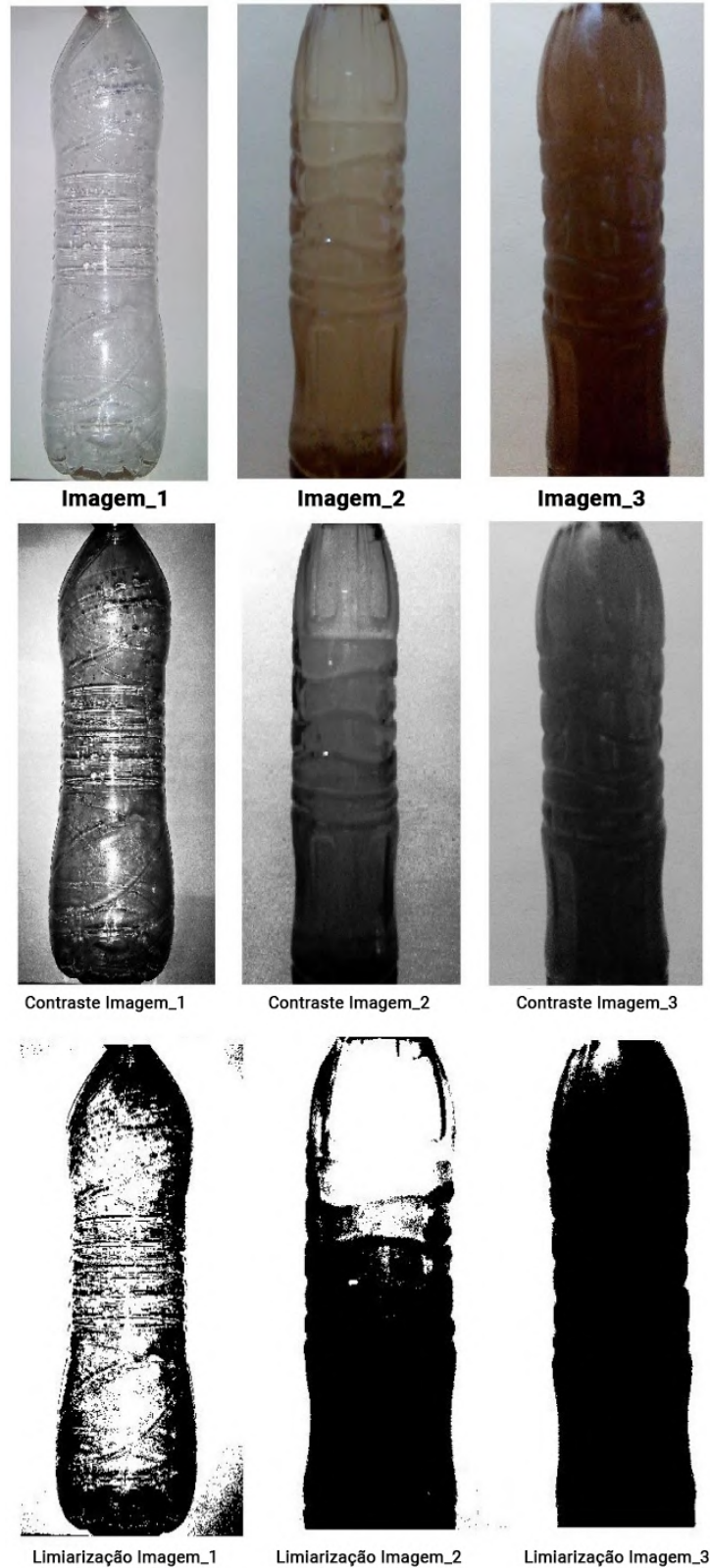
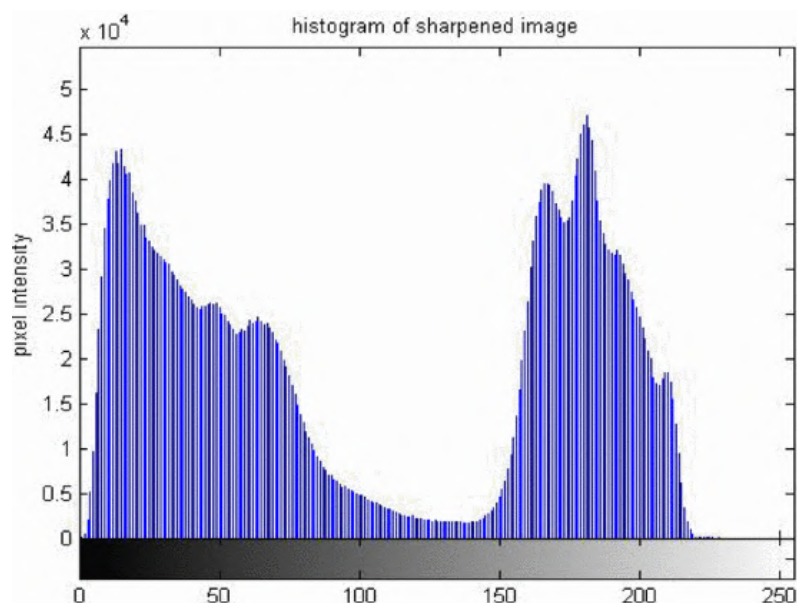


Figura 5 – Histograma da imagem de entrada 3 (KARNAWAT; PATIL, 2016).



Por fim, é possível observar na Tabela 1 a qualidade dos resultados da turbidez utilizando tais técnicas de processamento de imagens, em comparação aos dados obtidos de um turbidímetro de laboratório com as mesmas amostras. Esta etapa final de comparação com uma base de dados não será utilizada no presente trabalho, mas futuramente poderá ser um incremento na aplicação LiquiQuali.

Nome	Valor do histograma	Turbidez (NTU) por método de laboratório	Turbidez (NTU) por processamento de imagens
Imagem_1	80.000	2.8	2
Imagem_2	43.000	8.5	8
Imagem_3	35.000	14.6	15

Tabela 1 – Resultados da análise de turbidez por processamento de imagem (KARNAWAT; PATIL, 2016).

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em capítulos, compreendendo assuntos relacionados à área computacional de processamento de imagens, como também ao âmbito químico que envolve todo o cerne desta aplicação, em especial, a propriedade da turbidez.

Neste primeiro capítulo foram apresentados: a introdução, o problema, a justificativa, os objetivos gerais, os objetivos específicos, a estrutura deste documento e os trabalhos relacionados.

No segundo capítulo é apresentada toda a fundamentação e definição teórica dos termos e procedimentos que serão utilizados no trabalho, desde a formalização química até a seção computacional.

Para o terceiro capítulo é apresentada a metodologia do projeto, juntamente com os métodos e funções que serão utilizadas, com base outros trabalhos e demais dispositivos relacionados.

No quarto capítulo são apresentadas as discussões iniciais acerca das métricas utilizadas, além dos testes e resultados preliminares, culminando para o posterior desenvolvimento da aplicação.

No quinto e último capítulo, estão as etapas a serem realizadas na continuação deste projeto bem como as conclusões parciais do trabalho. Como a continuação é uma etapa de mais alto nível, o capítulo final contém informações mais pertinentes ao ambiente de desenvolvimento e distribuição da aplicação ao público.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Formalização de Turbidez

2.1.1 Definição

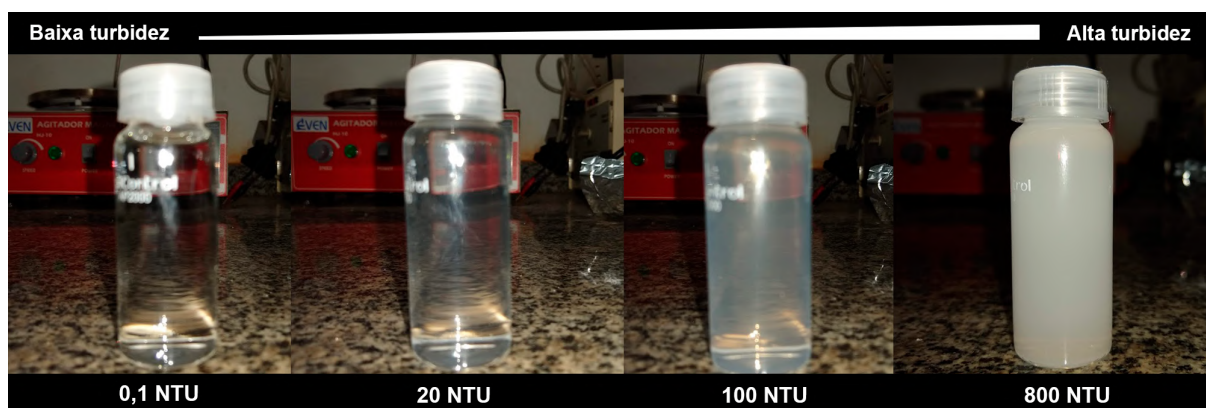
A turbidez representa o grau de interferência na passagem da luz através de um líquido, conferindo uma aparência turva ao mesmo. É uma característica óptica da água sendo medida pelo coeficiente de feixes luminosos espalhados no material, conferindo ao mesmo diferentes níveis de turvação ou clareza (NASCENTES, 2011).

Quanto maior a intensidade da luz dispersa, maior a turbidez. Alguns materiais que causam a turvação da água incluem argila, silte, matéria inorgânica muito pequena, algas, compostos orgânicos coloridos dissolvidos, plâncton, dentre outros organismos microscópicos (SWANSON; BALDWIN, 1965).

A alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e das algas, que por sua vez, suprime a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar a vida nas comunidades biológicas aquáticas. No geral, a cor se deve à presença de tanino, oriundo dos vegetais e, em geral, varia de incolor até o castanho intenso (NASCENTES, 2011).

Como exemplificado na Figura 6, diferentes níveis de turbidez podem ser visualmente discriminados apenas a olho nu. Porém, ao se tratar de substâncias que por exemplo, serão disponibilizadas ao consumo humano, é necessário refinar estes resultados com medições mais precisas e assertivas. Sendo assim, existem equipamentos especializados para estas análises, sendo melhor exemplificados na seção a seguir.

Figura 6 – Escala com diferentes amostragens de turbidez utilizando um turbidímetro.



Ainda sobre a Figura 6, tem-se uma amostra com turbidez quase nula à esquerda, sendo a água destilada praticamente pura. Mas à medida que porções com quantidades distintas de uma solução (produzida pelo fabricante do turbidímetro em questão) são misturadas à água, torna-se cada vez mais difícil ver através da solução líquida, devido ao aumento do coeficiente de turbidez e sua conseqüente interferência na passagem de luz.

Uma turbidez excessiva na água potável, além de ser esteticamente desagradável, pode também ser um perigo à saúde e por isso, é motivo de preocupação. Sendo assim, caso uma fonte contaminada não seja tratada com reagentes de limpeza ou até mesmo ser ferventada, a água proveniente pode conter bactérias, vírus e patógenos que ocasionam doenças intestinais e inúmeros outros danos à saúde (SWANSON; BALDWIN, 1965).

2.1.2 Mensurando a turbidez (Turbidímetro)

Existem equipamentos no mercado construídos especialmente para a análise da turbidez de líquidos, sendo o mais usual o turbidímetro. Os turbidímetros operam com base nos fenômenos ópticos que ocorrem quando a luz incidente através do corpo d'água é dispersa pela existência de partículas estranhas que estão suspensas dentro dele (OMAR; JAFRI, 2009).

Turbidímetros que utilizam a nefelometria, que se baseia nesta diminuição da intensidade pela difração da luz, são as ferramentas mais utilizadas e podem ser divididos entre os de bancada (mais usados em laboratórios), os digitais (leitura e manuseio mais fáceis e precisos) e os portáteis (análises em campo, foras do laboratório) (LABOR, 2011). A Figura 7 exemplifica um modelo de turbidímetro comercial que é utilizado no trabalho como fonte de teste e verificador de resultados.

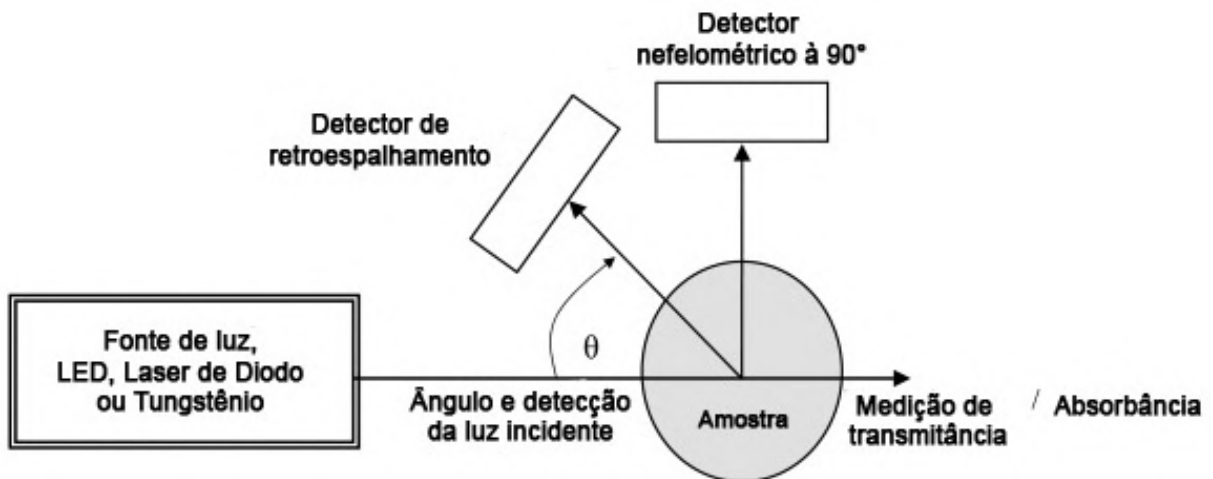
Figura 7 – Turbidímetro comercial comum.



A maneira mais precisa de medir a turbidez é com o método nefelométrico. Esse método emite um feixe de luz concentrado através de uma amostra de água e mede a quantidade de luz dispersa em um ângulo de 90° em relação à fonte de luz. A quantidade de luz dispersa é então relatada em NTUs. O método nefelométrico reflete uma medição mais precisa e é usado por agências governamentais e em trabalhos científicos (WATERSHED, 2010).

O método presente na Figura 8, corresponde a luz irradiada por qualquer fonte que incida em partículas sólidas presentes no meio líquido para ser então espalhada. Parte da luz corresponde à transmitância que é mensurada e absorvida, enquanto a luz espalhada atinge um detector de retrodifusão à 45° . A turbidez é determinada pelo sensor, disposto a 90° do feixe de luz incidente, que recebe a luz dispersa e calcula a intensidade da turvação (OMAR; JAFRI, 2009).

Figura 8 – Método de funcionamento de um turbidímetro comum (OMAR; JAFRI, 2009).



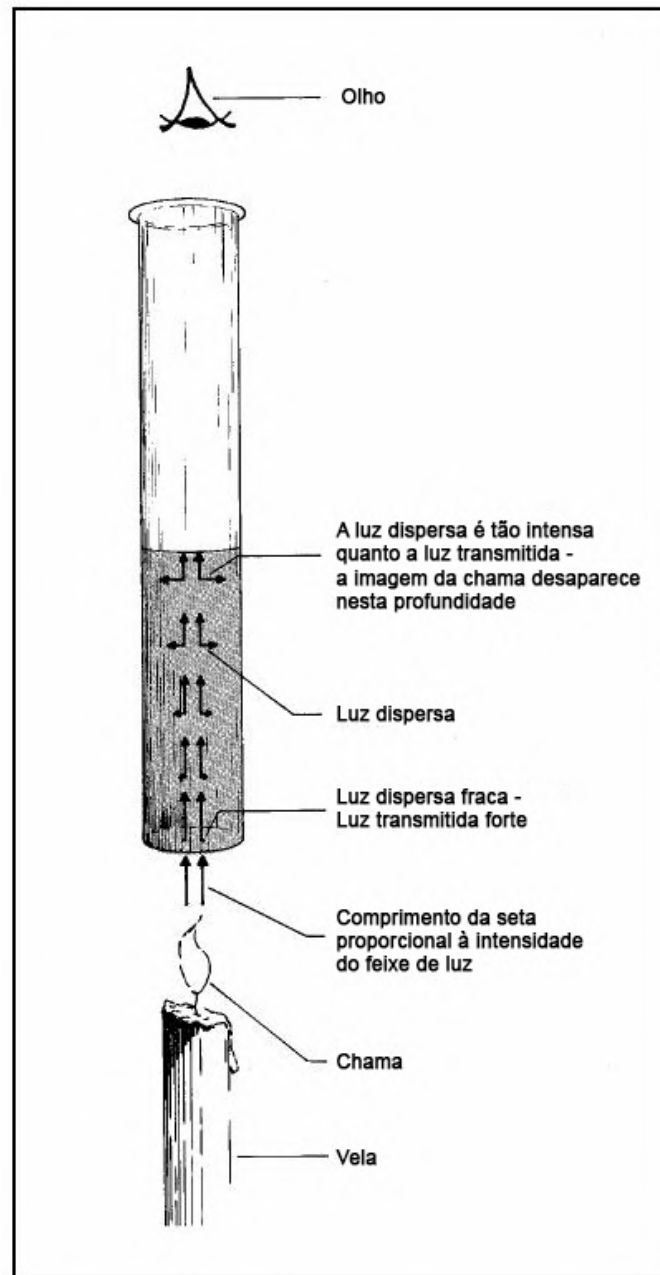
2.1.3 Unidades de Medição

Como não é uma grandeza física, a turvação não é medida diretamente através de propriedades do fluido e sua unidade de medição varia conforme técnica de medição, foco de pesquisa, característica do produto a ser testado ou preferência laboral. Isso pode ser feito com avaliações visuais simples, como o turbidímetro do **método da vela de Jackson**, ou então com recursos tecnológicos mais precisos, como o método nefelométrico nos turbidímetros atuais (WATERSHED, 2010).

O método desenvolvido por Whipple e Jackson, nomeado posteriormente de **Turbidímetro da Vela de Jackson**, foi desenvolvido por volta de 1900 e consistia na atenuação devido à absorção da luz pelo material em suspensão, ao atravessar o fluido que o contém (TURBIDITY..., 2006). Foi um dos marcos iniciais no segmento e serviu como inspiração para inúmeros trabalhos posteriores, inclusive o aprimoramento da medição de turbidez que acabou por torná-lo obsoleto, visto que os turbidímetros atuais operam com métodos aperfeiçoados (nefelometria) que possuem melhor precisão.

O turbidímetro da vela de Jackson consiste na quantidade de luz transmitida através de uma coluna de água presente em um tubo de vidro de fundo plano que fica sobre uma vela (TURBIDITY..., 2006). Uma amostra de água é derramada no tubo até a imagem visual da chama da vela se difundir em um brilho uniforme (ver Figura 9). A profundidade da amostra corresponde a um certo número de unidades de turbidez Jackson, ou JTUs (*Jackson Turbidity Units*) (TURBIDITY..., 2006).

Figura 9 – O turbidímetro da vela de Jackson original (TURBIDITY..., 2006).



Atualmente, existem diversas escalas construídas com base nas medições iniciais realizadas por Jackson, estas por sua vez são formadas por padrões feitos de diluições de formazina líquida em água destilada (RICE, 1976). A Tabela 2 contém as unidades mais comuns que podem ser utilizadas na medição da turbidez, assim como uma breve descrição (EPA, 1999).

A unidade nefelométrica de turbidez (NTU – *Nephelometric Turbidity Unity*) afere o valor resultante de um instrumento medindo a luz dispersa a partir de uma amostra à um ângulo de 90 graus da luz incidente (EPA, 1999). Esta unidade corresponde às

medidas de turbidez mais utilizadas atualmente, sendo comumente presente na literatura e em aplicações cotidianas por agências de tratamento de água.

Tabela 2 – Unidades de medição de turbidez (EPA, 1999).

Unidade	Descrição	Medição
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez	Medição à 90°, em conformidade com as disposições dos EUA, o mesmo que FTU.
FTU	Unidade de Turbidez Formazina	Usadas no tratamento de água, semelhante ao NTU.
FAU	Unidade de Atenuação de Formazina	Medição da transmissão de luz (ângulo de 0°) de acordo com os requisitos da Norma ISO 7027.
FNU	Unidade Nefelométricas de Formazina	Medição da luz difusa (ângulo de 90°) de acordo com os requisitos da Norma ISO 7027.

Para este trabalho, será utilizado o **NTU** como unidade de medida, com base nas referências e padrões dos demais trabalhos relacionados. O NTU corresponde como a unidade mais utilizada em pesquisas e análises e apresenta as aproximações mais sólidas que a câmera de um celular pode alcançar sobre um turbidímetro utilizando a nefelometria (LEEUEW; BOSS, 2018).

2.1.4 Aplicações

Como já citado, a utilização da turbidez como um parâmetro de qualidade de água, possui utilizações diversas. Verificar o quão turva uma amostra está, é útil não só no meio laboratorial (pesquisa e análises científicas), como também na fabricação de alimentos, produção de bebidas e o uso em piscinas domésticas (MARTINS, 2013).

Na indústria em geral, a turbidez juntamente com outros parâmetros, são utilizados como indicativos de qualidade do processo de fabricação de mel, vinhos e cervejas. Os valores provenientes destas medições são fundamentais para disponibilizar produtos adequados ao consumo, visualmente atraentes e saborosos ao paladar. (EPA, 1999)

A turbidez da água destilada comum, pode servir como indicativo se aquela fonte está apta para o consumo, e se possui micro organismos ou matéria orgânica dispersa. Chuvas torrenciais, matéria orgânica em decomposição, mineração, esgoto despejado, erosão e deslizamentos de terra, são alguns dos fatores que prejudicam a turbidez de algum corpo de água (NASCENTES, 2011), como exemplificado na Figura 10.

Figura 10 – Exemplo de rio com turbidez elevada devido a sedimentos trazidos em chuvas torrenciais (WATERSHED, 2010).



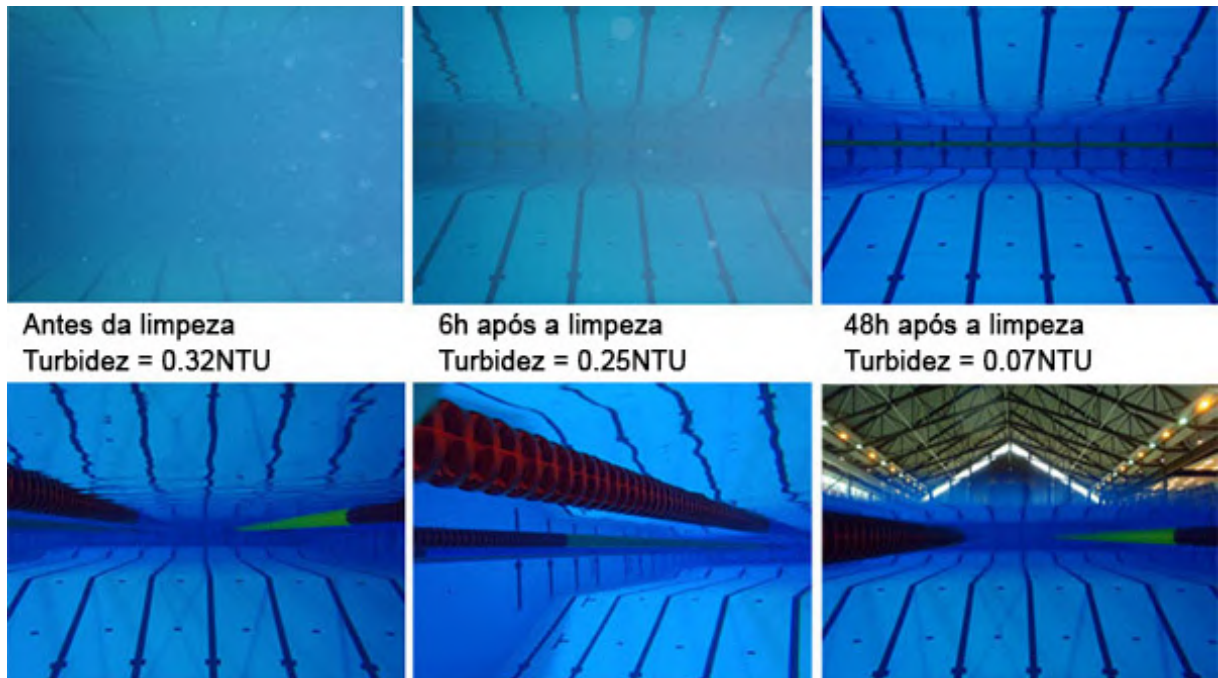
A água potável para consumo humano por exemplo, deve possuir turbidez máxima de 1 NTU na saída das estações de tratamento de água e 5 NTU em qualquer ponto da rede de distribuição conforme regulamentação nacional. Existem também outros padrões de potabilidade da água que devem ser mencionados como o flúor, pH, coliformes fecais e cloro (MARTINS, 2013).

Em piscinas de natação ou tanques de criação animais, a clareza da água é um fator bastante importante e pode ser comprometido por variáveis como má sucção, filtros deteriorados, "pontos" mortos de matéria orgânica ou até mesmo baixos níveis de água (KOERTGE, 1970).

O Grupo de Consultoria para Tratamento de Água de Piscina no Reino Unido afirma que o sistema de tratamento de água de piscinas deve ser capaz de fornecer clareza de não mais que 0.5 NTU. Este é um limite seguido internacionalmente em países como Alemanha, EUA, Canadá, Espanha e é mencionado nas Diretrizes para Piscinas de Água Recreativa para Ambientes de Água (2006) da Organização Mundial de Saúde (OMS). Em épocas de pico de carga de banhistas, a turbidez pode aumentar para 1.0 NTU, mas deve retornar para 0.5 NTU em 6 horas (GROUP, 2017).

Em alguns países até mesmo ordena-se o fechamento imediato da piscina quando a turbidez é muito alta. Na Espanha, uma piscina é fechada se a turbidez exceder 20 FNU, fornecendo um exemplo pertinente sobre a turbidez na gestão de piscinas, sendo então responsabilidade de quem a mantém, assegurar a qualidade da água (GROUP, 2017). A Figura 11 exemplifica a medição da turbidez em piscinas apresentando diferentes estágios da qualidade da água, antes e depois do tratamento utilizando ferramentas e produtos químicos (INC., 2012).

Figura 11 – Turbidez de uma piscina pública antes e após a limpeza (INC., 2012).



A exemplo de medição da condição da água em piscinas, existem inúmeros outros coeficientes que correspondem como diferentes indicativos de qualidade. Não é o foco total deste trabalho contemplar e destrinchar à todos, porém na Tabela 3 estão disponíveis alguns dados pertinentes a recomendação da águas em piscinas que auxiliam na elucidação sobre a qualidade da água já discutida (PALINTEST, 2019).

Tabela 3 – Tabela com parâmetros relacionados à qualidade da água em piscinas, bem como suas recomendações (PALINTEST, 2019).

Questões relacionadas à clareza da água	Grupo de Consultoria para Tratamento de Água de Piscina (PWTAG), 2014	Fundação Nacional Americana de Piscinas (NSPF), 2014
Controle desinfetante	Cloro livre em 1mg/l ou abaixo, até um mínimo absoluto de 0,5mg/l.	Cloro livre: níveis abaixo de 5mg/l, com um resultado ideal entre 2 e 4mg/l. Cloro combinado: abaixo de 0,2mg/l.
PH alto	Ideal entre 7.2 - 7.4.	Ideal entre 7,4 - 7.6, máximo de 7.8
Alta Alcalinidade Total	Manter níveis abaixo de 150mg/l (medidos como CaCO ₃).	Manter níveis entre 80 e 120 mg/l, máximo de 180mg/l.
Alta dureza do cálcio	Manter níveis abaixo de 150 mg/l (medidos como CaCO ₃).	Manter níveis entre 200 e 400 mg/l com um máximo de 1000 mg/l.
Altos Sólidos totais dissolvidos (TDS)	Manter níveis abaixo de 1.000mg/l acima do nível da água.	Máximo 1500mg/l.

2.1.5 HydroColor

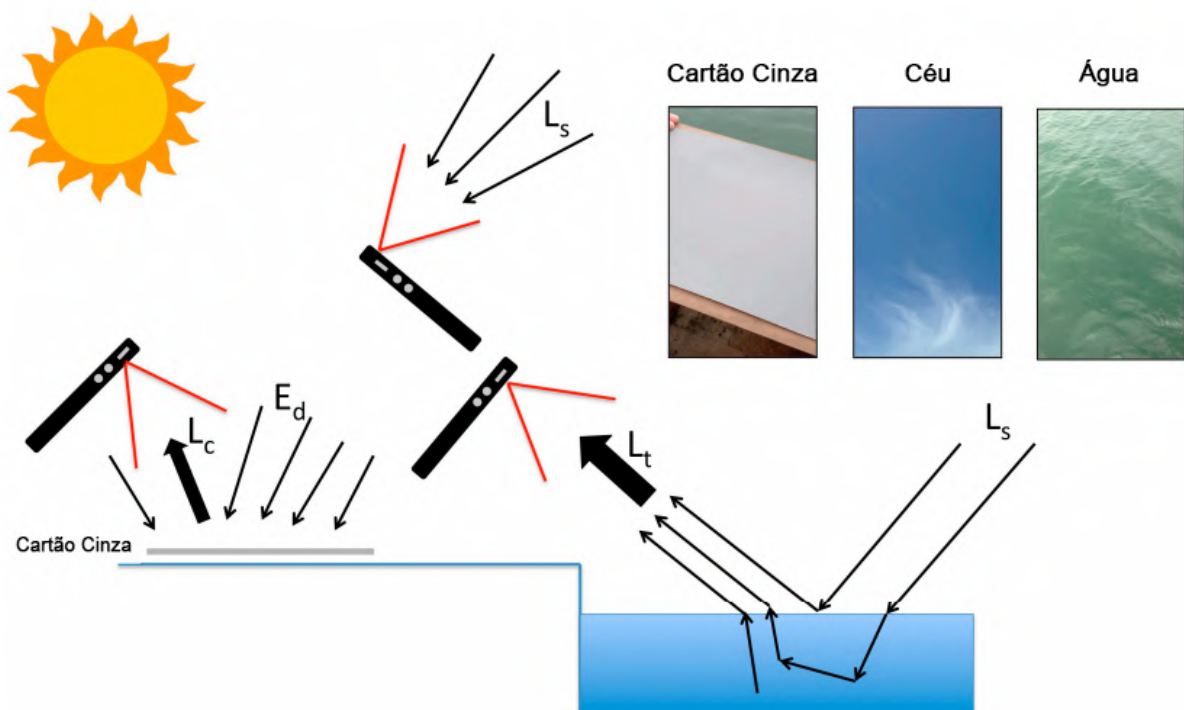
Nesta subseção estão contidas as definições primordiais e mais utilizadas no HydroColor, que é a referência principal para este trabalho. No processo de captura de imagem, o HydroColor utiliza a Equação 1 que foi definida por (MOBLEY, 2000) e que é comumente utilizada para determinar a reflectância do sensoriamento acima da água (R_{rs}). Onde L_t é a radiância deixando a superfície da água, ρR_{rs} é a radiância do céu, R_{ref} é a radiância de certo padrão de reflectância (0.18, para o cartão cinza de 18% utilizado no aplicativo), L_c é o brilho medido deixando o padrão de reflectância e ρ é o fator de reflectância da superfície do mar (LEEuw; BOSS, 2018).

$$R_{ref} = \frac{L_t - \rho L_s}{\frac{\pi}{R_{ref}} L_c} \quad (1)$$

É necessária a imagem de um cartão cinza (utilizado na fotografia e preço acessível) para se obter a radiância do cartão (L_c), uma imagem do céu para determinar o brilho do

céu (L_s) e por fim, uma imagem da água para determinar o brilho da superfície da água (L_t) (LEEUEW; BOSS, 2018). Na Figura 12 tem-se a visão completa do processo de coleta do HydroColor, onde imagem do cartão cinza é capturada a 40° do nadir¹ e 135° do sol. A imagem do céu é capturada a 130° do nadir e a 135° do plano do sol. A imagem da água é capturada a 40° do nadir e 135° do plano do sol. Além disso, o HydroColor usa as coordenadas GPS atuais e a hora UTC atual para determinar a posição do sol no céu e posteriormente utilizar o ângulo dos raios solares no local para um cálculo mais preciso.

Figura 12 – Exemplo de imagens coletadas com HydroColor e os recursos ópticos capturados em cada imagem.



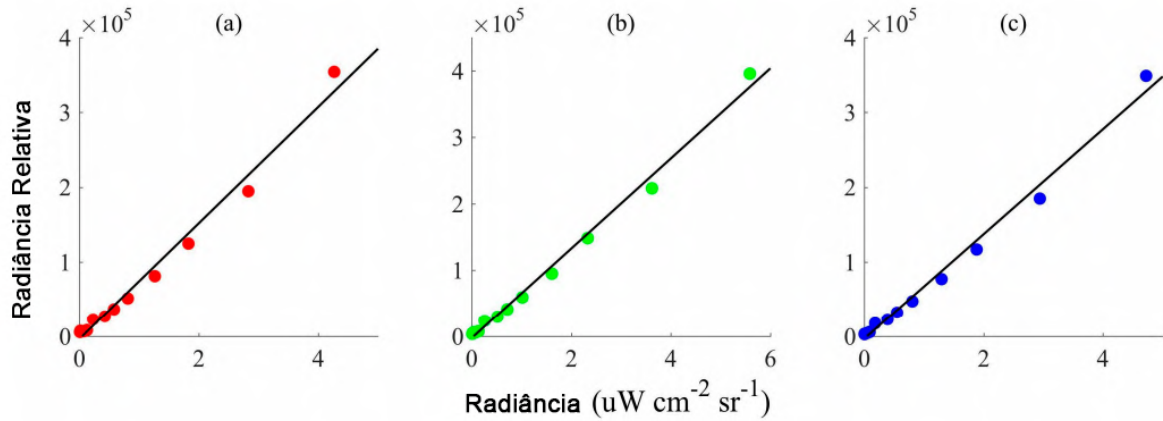
O HydroColor utiliza a Equação 2 que mede a radiância relativa da luz (R_{rel}) utilizando informações dos pixels da imagem juntamente com os metadados (EXIF) do arquivo da câmera. Na fórmula, DN é o valor do pixel digital (0–255) da imagem da câmera nos canais vermelho, verde ou azul; α é o tempo de exposição e S é a velocidade (LEEUEW; BOSS, 2018). Ao final, a radiância relativa na imagem é aplicada separadamente em cada canal de cor, e os resultados são apresentados em um comprimento específicos de onda de luz.

$$L_{rel} = \frac{DN}{\alpha S} \quad (2)$$

¹Nadir é o ponto inferior da esfera celeste, sob a perspectiva de um observador na superfície do planeta (FILHO, 2015).

Na Figura 13 constam as medições feitas com um Apple iPod Touch e a atenuação da radiância relativa nos três canais de cor: vermelho, verde e azul. O brilho real foi medido usando um radiômetro Satlantic HyperPro. Esta Figura serve para mostrar a relação linear entre a medida de brilho relativo da câmera e a brilho real e não se destina a fornecer uma calibração absoluta para medir radiância (LEEuw; BOSS, 2018).

Figura 13 – Resposta da câmera em função do brilho (LEEuw; BOSS, 2018).



E finalmente, tem-se a Equação 3 de turbidez definida pela relação entre os valores obtidos anteriormente, dentre eles a R_{rs} e a L_{rel} . Neste estudo, é utilizada a turbidez medida em unidades nefelométricas de turbidez (NTU) como representação para concentração de SPM (*suspended particulate matter*, ou material particulado em suspensão).

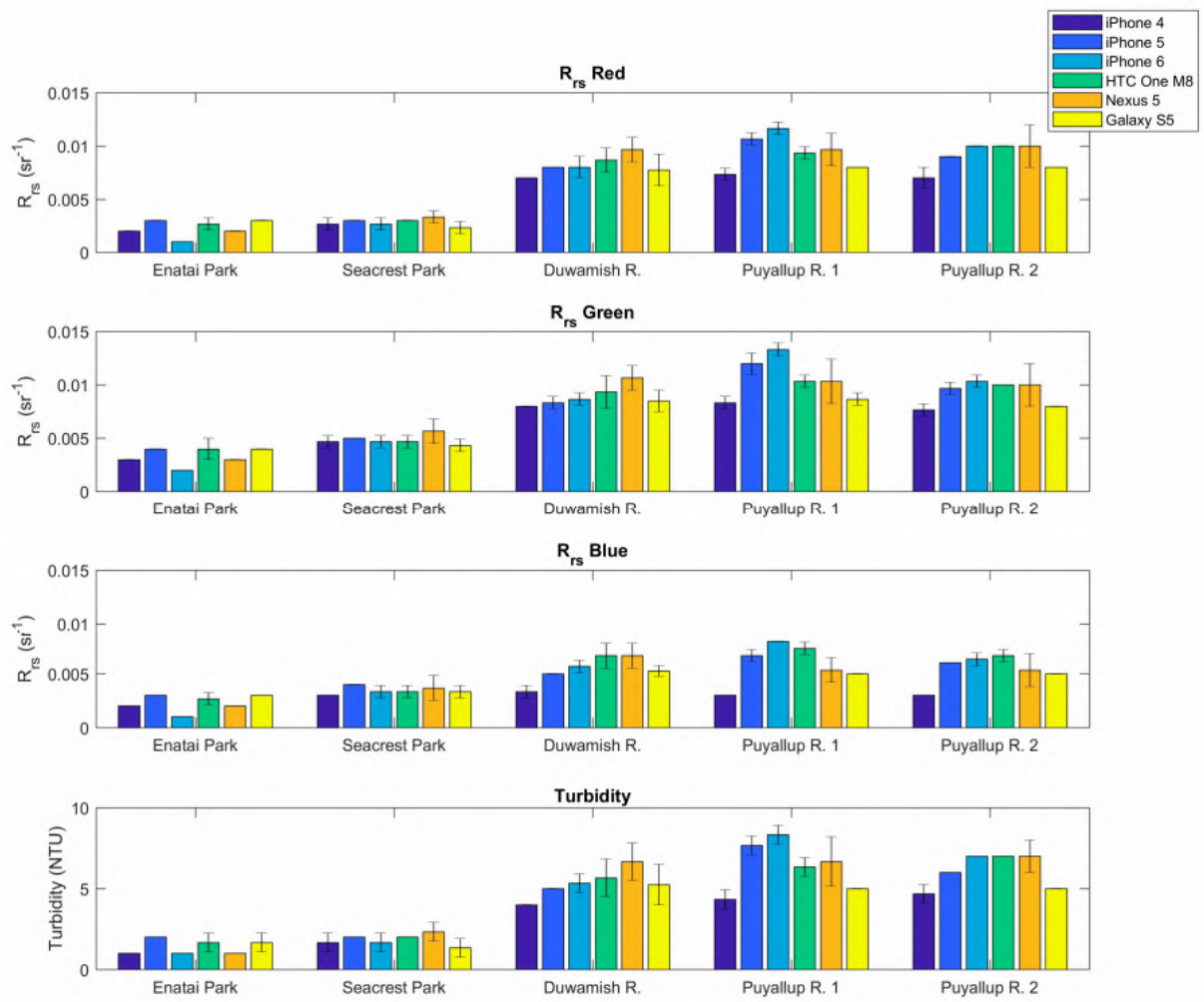
$$Turbidez = \frac{27.7R_{rs}(Red)}{0.05 - R_{rs}(Red)} \quad (3)$$

Ao final de cada medição, informações adicionais são gravadas em um arquivo de texto que pode ser baixado do dispositivo (encontrado na pasta de documentos do HydroColor). Os dados salvos no arquivo contêm: latitude, longitude, data, hora, zênite² e azimute³ do sol, zênite e azimute do dispositivo, valores de exposição, reflectância de sensoriamento remoto, turbidez, concentração de material particulado em suspensão e coeficiente de retrodifusão (LEEuw; BOSS, 2018).

²Ponto da esfera celeste diretamente oposto ao nadir (FILHO, 2015).

³Ângulo medido no plano horizontal entre o meridiano do lugar do observador e o plano vertical que contém o ponto observado, o Norte astronômico (FILHO, 2015).

Figura 14 – Comparação da reflectância e turbidez medidas de vários smartphones com os mesmos locais de estudo (LEEUEW; BOSS, 2018).



Os resultados são calibrados e comparados com a medição de um turbidímetro real a fim de obter a taxa de erro absoluto relativo ($\pm 36\%$), e estão exemplificados na Figura 14, tal como as barras que mostram a média de três medições e as barras de erro que mostram o desvio padrão. Sendo assim, os procedimentos que são utilizados na aplicação HydroColor servem como estrutura principal da aplicação LiquiQuali, já que possuem contextos semelhantes e as funções de reflectância e turbidez seguem as diretrizes definidas por (MOBLEY, 2000), além dos padrões utilizados por agências de monitoramento de águas.

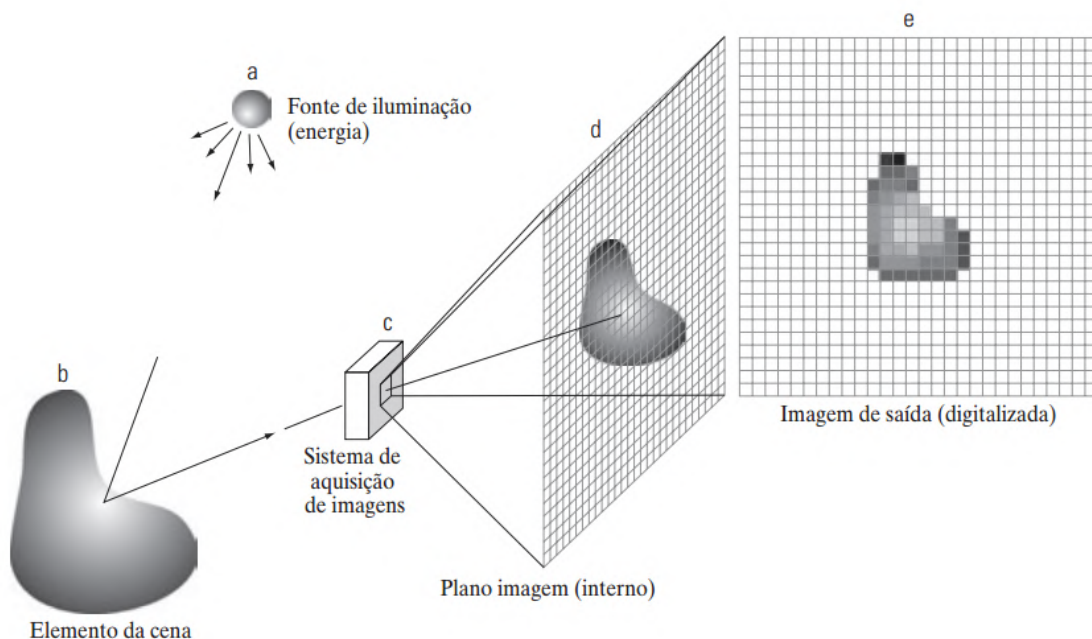
2.2 Fundamentos de Processamento de Imagens

Nesta seção serão definidos e apresentados os principais termos referentes ao escopo tecnológico, e ao que se refere à obtenção, manipulação, tratamento e apresentação de imagens digitais.

2.2.1 Aquisição de Imagens

O processo de aquisição de imagens, principalmente o qual estamos interessados, é realizado na captura da luz visível que é convertida em uma representação digital. A informação é registrada por meio de um sensor - da câmera do dispositivo no presente cenário - e é então processado para que aqueles raios de luz em um espectro específico, sejam salvos como um arquivo de imagem de duas dimensões (GONZALEZ, 2019). Na Figura 15 a imagem é convertida em sinais digitais a partir de um sensor que captura um objeto real através dos raios emitidos por uma fonte de luz.

Figura 15 – Sensores e aquisição de imagens (GONZALEZ, 2019).

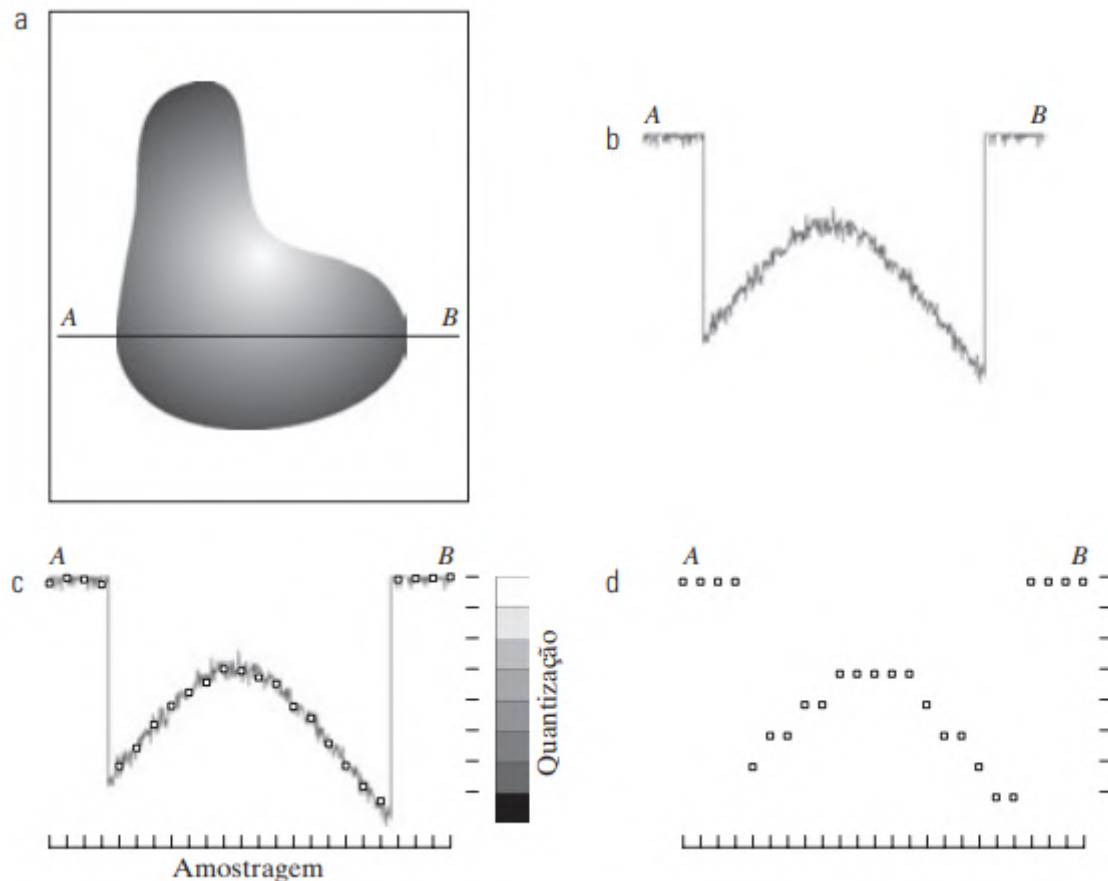


2.2.2 Amostragem e Quantização

Uma imagem real possui sua representação de forma contínua em f e para ser convertida em sua representação digital é necessário o processo de amostragem da função tanto nas coordenadas x e y quanto na amplitude. A digitalização dos valores de coordenada é chamada de **amostragem**. A digitalização dos valores de amplitude é chamada de **quantização** (GONZALEZ, 2019). Na Figura 16 a imagem contínua (a) é representada

pela linha de varredura de A a B (b), para posterior amostragem e quantização (c), e por fim, é apresentada a linha de varredura digital (d) produzida nesta digitalização.

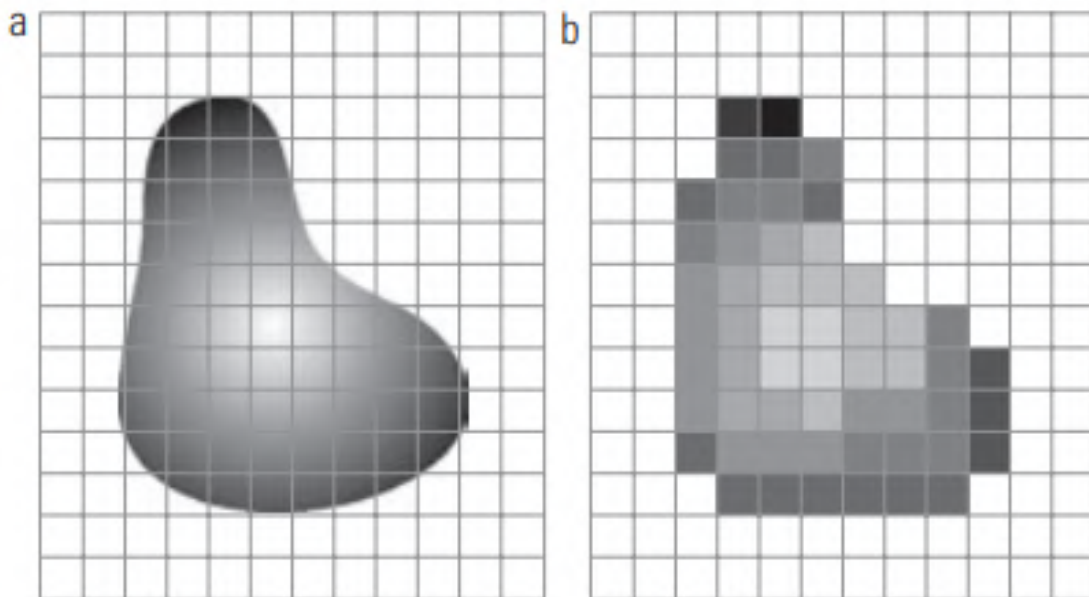
Figura 16 – Etapas de amostragem e quantização de uma imagem (GONZALEZ, 2019).



2.2.3 Representação de Imagens Digitais

Após as etapas de aquisição e pré-processamentos iniciais, é necessário realizar a apresentação da imagem, seja ela em seu estado inicial, ou final após ter passado por processamentos diversos. Como este projeto é trabalhado utilizando um dispositivo móvel, a visualização mais comum é sua a representação matricial. As imagens matriciais (mapas de *bits* ou *bitmap*) são formadas por matrizes bidimensionais de pixels na tela dispositivo, onde cada pixel guarda informações de cor, e a combinação de todos os pixels (linhas e colunas) é que vai dar origem à imagem (GONZALEZ, 2019).

Figura 17 – Imagem representada de forma matricial (GONZALEZ, 2019).

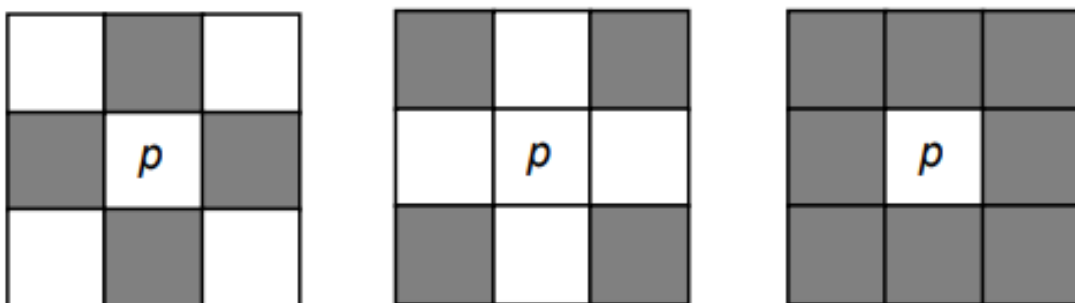


Na Figura 17, a imagem (a) configura uma representação contínua da forma do objeto, já a imagem (b) apresenta a representação discreta dos pixels em sua forma de matriz.

2.2.4 Vizinhança e Conectividade

A conectividade é o modo em que pixels em imagens digitais se relacionam com seus vizinhos, verificando algum critério de conectividade ou se seus níveis de cinza satisfazem a um determinado critério de similaridade (OGE, 1909). A vizinhança por sua vez utiliza essas informações de conectividade para encontrar padrões de relação entre pixels, podendo resultar em vizinhanças distintas entre cada pixel.

Figura 18 – Diferentes concepções de vizinhança de pixels (OGE, 1909).



A Figura 18 exemplifica três conceitos de vizinhança de pixels: 4-vizinhança, vizinhança diagonal e 8-vizinhança, respectivamente.

2.2.5 Limiarização

A limiarização, ou *thresholding*, consiste em um processo de segmentação que se baseia na diferença dos níveis de cinza da imagem, a fim de separar regiões em uma imagem que apresentam duas classes (o fundo e o objeto alvo). Como a limiarização produz uma imagem binária de saída, o processo também pode ser denominado **binarização** (OGE, 1909).

Tendo um limiar estabelecido de acordo com as características dos objetos que deseja-se isolar, a imagem pode ser segmentada em dois grupos: o grupo de pixels com níveis de cinza abaixo do limiar e o grupo de pixels com níveis de cinza acima do limiar. Em uma imagem limiarizada, atribui-se um valor fixo para todos os pixels de mesmo grupo (GONZALEZ, 2019).

O pseudocódigo abaixo exemplifica o funcionamento de um algoritmo básico de limiarização:

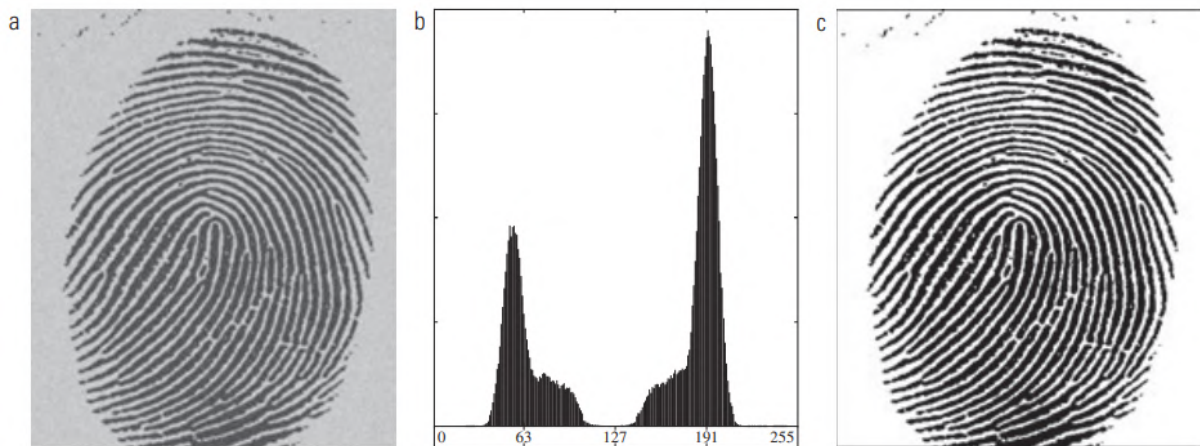
Algorithm 1 Exemplo de algoritmo de limiarização.

```

1: para cada pixel no eixo X da matriz da Imagem faça
2:   para cada pixel no eixo Y da matriz da Imagem faça
3:
4:     PixelAtual = Imagem[X, Y]
5:     BrilhoDoPixel = PixelAtual.ObterBrilho()           (entre 0 e 1)
6:
7:     se o PixelAtual <= 0.5 então
8:       NovoPixel = 0
9:     senão
10:      NovoPixel = 1
11:    fim se
12:
13:  fim para
14: fim para

```

Figura 19 – Limiarização aplicada à digital humana (OGE, 1909).



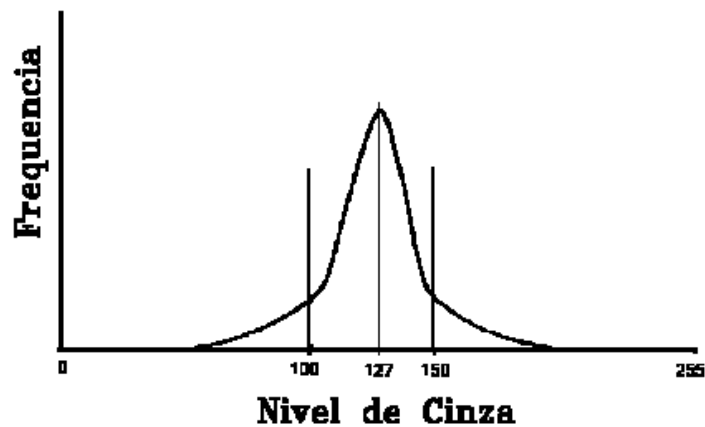
A Figura 19 exemplifica a utilização da limiarização no intuito de destacar as bordas de uma digital do dedo humano, sendo possível analisar a entrada da imagem original (a), seu histograma (b) e a imagem final limiarizada (c).

2.2.6 Subtração

Outro método de processamento de imagens pertinente à este trabalho consiste na operação aritmética envolvendo a subtração de imagens. A subtração consiste em uma **operação linear**, cujos resultados vão produzir intensidades no intervalo -255 a $+255$, necessitando portanto de um ajuste de contraste. Esse ajuste é implementado adicionando-se 255 ao resultado, o que vai produzir um novo intervalo $0-510$, e dividindo-se este por 2, retornando portanto ao intervalo $0-255$ (CROSTA, 1992).

A subtração serve para realçar pequenas diferenças espectrais, sejam em diferentes bandas de uma mesma imagem ou a mesma banda de diferentes imagens (CROSTA, 1992). É um processo bastante importante na detecção de padrões e acúmulo de interferências, e será útil neste trabalho visto que serão utilizadas duas imagens (com e sem *flash*) a fim de obter as sutilezas de suas diferenças.

Figura 20 – Exemplo de histograma resultante de duas imagens subtraídas (CROSTA, 1992).



O histograma da Figura 20 consiste no resultado de uma imagem produzida pela subtração de duas outras. Pixels que não apresentam nenhuma diferença possuem valor 127 e os pixels com maior diferença estão entre 0-100 e entre 150-255 (CROSTA, 1992).

2.2.7 Modelos e Canais de Representação de Cores

Em processamento de imagens, as cores são muito importantes ao trazerem informação relevantes na imagem, além de melhorarem a percepção e representação visual humana. De maneira geral, os modelos de cores são representações tridimensionais, onde cada cor representa um ponto no sistema de coordenadas (OGE, 1909). Existem diversos exemplos, com inúmeras aplicações, porém neste trabalho serão utilizados os modelos mais comuns no meio digital e que atendem a demanda desta solução, os modelos **RGB** e **HSI**.

2.2.7.1 O Modelo RGB

O modelo RGB é um sistema de cores baseado em coordenadas cartesianas. Suas cores primárias são o vermelho (*Red*), verde (*Green*) e o azul (*Blue*), representadas em três vértices de um cubo como representado na Figura 21. Em outros três vértices estão as cores secundárias, representadas pelo ciano, magenta e amarelo. Na origem do cubo está localizado o preto, e no ponto inverso a origem, o branco (ver Figura 22). Nesta faixa, estão localizados os tons de cinza restritos na reta do branco até o preto (GONZALEZ, 2019).

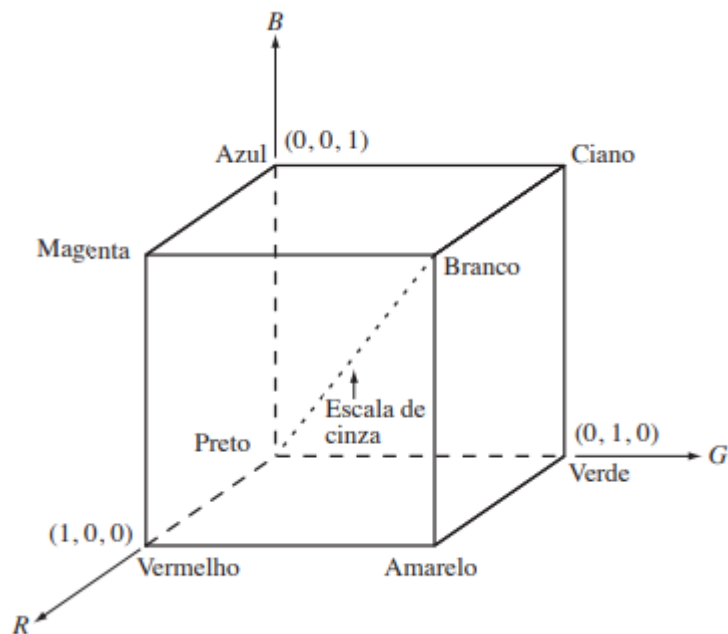
O modelo RGB é um dos mais utilizados atualmente, podendo ser encontrado nas telas dos monitores e televisões, assim como em toda a *WEB*. Possui mais de 16 milhões ($16.777.216$ ou 256^3) diferentes combinações de tons, saturação e brilho (GONZALEZ, 2019).

Neste trabalho, a aquisição da imagem trabalha com os canais provenientes do RGB, já que o *hardware* da câmera do dispositivo opera nesse conjunto, até por ser melhor para a representação final e visualização humana.

Figura 21 – Cubo de cores RGB de 24 bits (GONZALEZ, 2019).

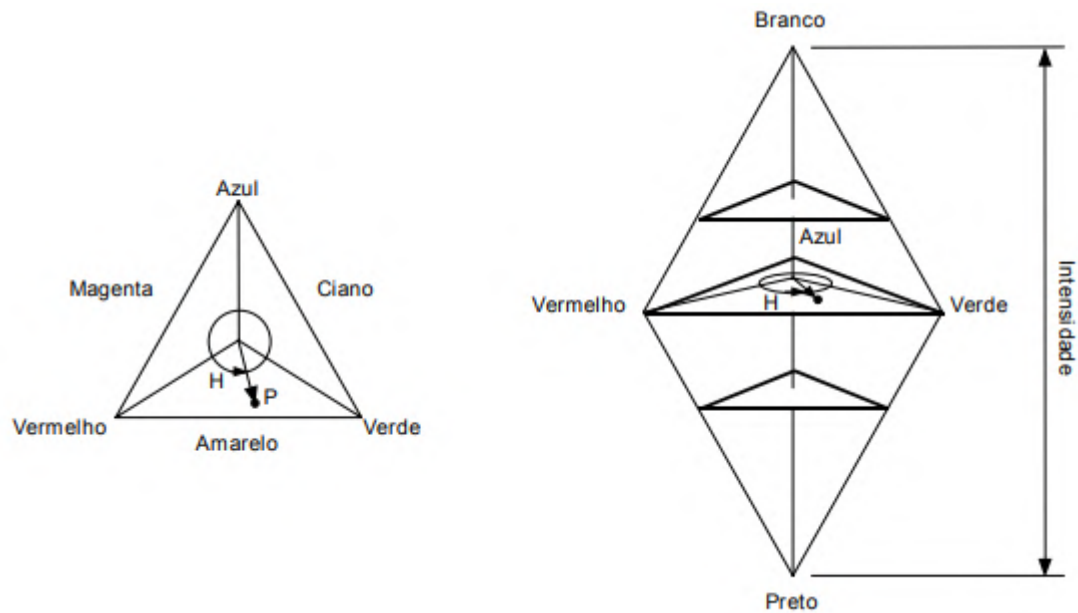


Figura 22 – Esquema do cubo de cores RGB (GONZALEZ, 2019).



2.2.7.2 O Modelo HSI

O modelo HSI pode operar em conjunto ao RGB, pois permite separar os componentes de **matiz**, **saturação** e **intensidade** da informação de cor em uma imagem, da forma como o ser humano as percebe. É bastante utilizado em sistemas de visão artificial fortemente baseados no modelo de percepção de cor pelo ser humano. Este modelo pode ser representado como um sólido como na Figura 23, e permite a conversão para RGB e vice-versa (OGE, 1909).

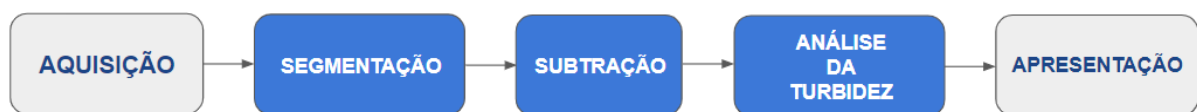
Figura 23 – Modelo *HSI* (OGE, 1909).

A exemplo disso, tem-se a própria aplicação do LiquiQuali que utilizará essas informações do modelo HSI para capturar a intensidade de certos pontos da imagem, e trabalhar esses valores como uma referência para a reflectância e transparência da imagem.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso, serão utilizados métodos e procedimento de diferentes aplicações e trabalhos, combinando-as de maneira a maximizar a precisão da aplicação, além de aprimorar todos os passos desde a captura, processamento e apresentação. A Figura 24 simplifica a visualização das etapas principais da aplicação, sendo posteriormente definidas ao decorrer da metodologia.

Figura 24 – Fluxograma das etapas principais do aplicativo final (LiquiQuali).



Como esta aplicação visa analisar amostras de líquidos via câmera de *smartphones*, inicialmente com foco apenas na **turbidez da água**, o trabalho realizado no **HydroColor** (LEEUEW; BOSS, 2018) é utilizado como a maior referência deste projeto, já que consiste uma abordagem acessível de implementação, bem como suas métricas e resultados consistentes.

Na prática, a aplicação utiliza a matriz de pixels, os canais de cor e informações de metadados obtidos na captura da imagem (ISO, *shutter speed*¹, etc), além de algoritmos para se obter parâmetros que são utilizados no cálculo das seguintes propriedades: refletância, turbidez, partículas em suspensão e coeficiente de retrodifusão (LEEUEW; BOSS, 2018).

Em paralelo, será realizada consultorias com um profissional e especialista na área, a fim de calibrar o aplicativo e averiguar os dados obtidos utilizando equipamentos apropriado. Será utilizado um turbidímetro (ver Figura 7) disponibilizado pela Universidade Federal do Tocantins, juntamente a assistência técnica de um professor da própria instituição, formado na área Química, para operar o equipamento. O dispositivo em questão servirá como métrica na realização dos testes, analisando e comparando os resultados obtidos no LiquiQuali, com os dados mais precisos do turbidímetro.

Desenvolver uma aplicação para dispositivos móveis, por ser um processo final e de alto nível, envolve tempo e conhecimento especializado de desenvolvimento. Como o intuito inicial deste presente trabalho é descobrir as métricas e procedimentos que serão utilizados no futuro aplicativo, o desenvolvimento inicial será feito em uma aplicação *desktop* de simples operação e sem interface elaborada, já que servirá apenas para a execução dos algoritmos que serão desenvolvidos na obtenção de resultados.

¹Velocidade do obturador ou tempo de exposição da câmera do dispositivo (LEEUEW; BOSS, 2018).

Para ambiente de desenvolvimento, será utilizado um computador pessoal que possui Windows 10 Pro como sistema operacional, Ryzen 7 2700 (Octacore 3.2GHz) como processador, 16GB de memória RAM DDR4 e placa de vídeo AMD RX 580 4Gb. A aplicação teste será feita utilizando a tecnologia **WPF (Windows Presentation Foundation)** e **C#** como linguagem de programação.

3.1 Aquisição

As imagens capturadas nos testes por meio da câmera de um dispositivo pessoal (Xiaomi Mi A2 Lite), são comparadas com medições realizadas com o equipamento profissional e assessoradas pelo profissional que opera o turbidímetro, além de fornecer conhecimento técnico e indicativos sobre os dados obtidos. Caso sejam encontradas inconsistências, novos testes serão realizados e correções nos algoritmos e procedimentos são realizadas.

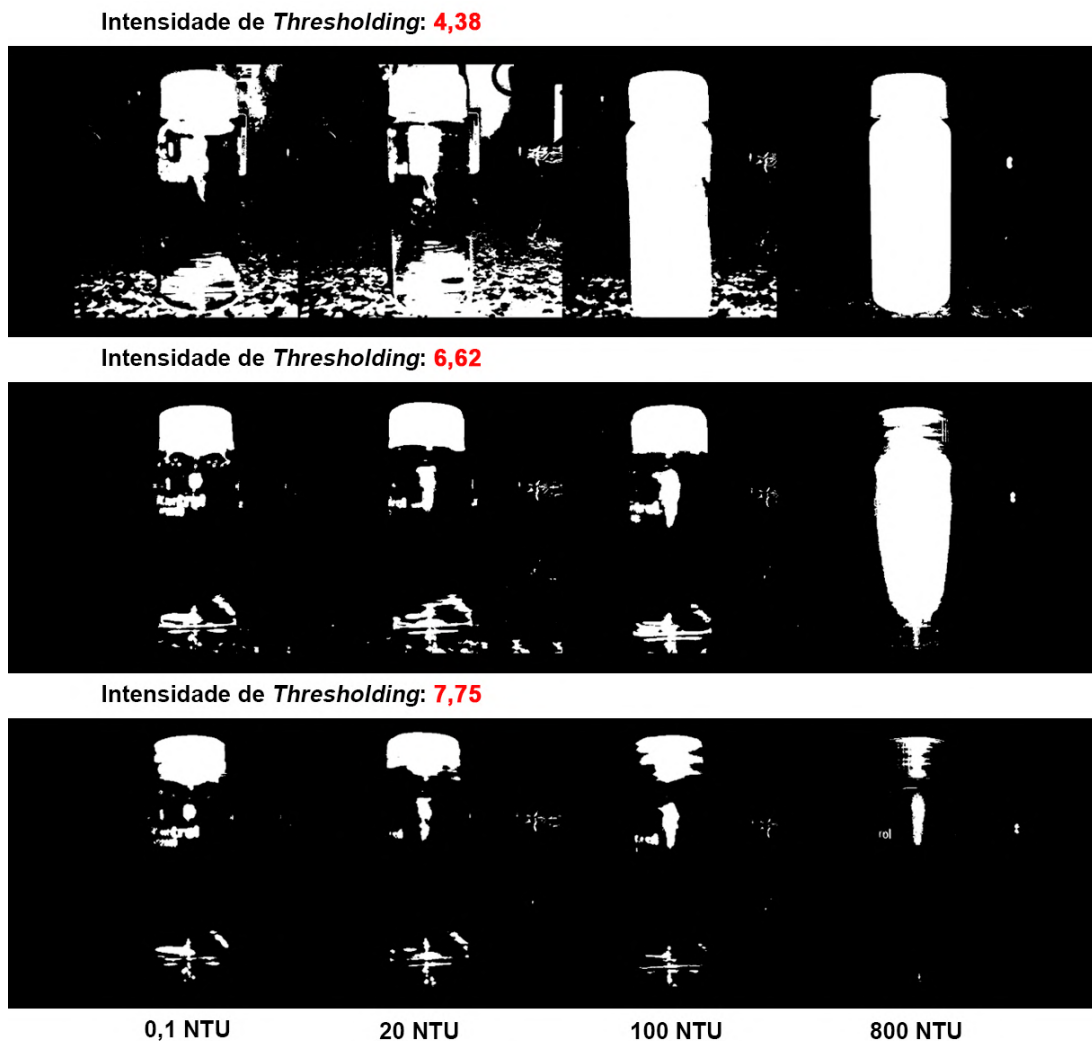
Os testes iniciais utilizam as imagens obtidas do *smartphone* conectado ao computador, sendo reconhecido pelo ambiente de desenvolvimento como um dispositivo de *webcam*. Já os testes da aplicação final são processados no próprio celular por meio das imagens capturadas pelo sensor da câmera (12 Megapixels).

3.2 Segmentação

Como não é possível garantir cenários ideais em todos os casos de utilização da aplicação, é necessário assegurar primariamente, que as informações extraídas da imagem capturada pela câmera, estejam sem a maior quantidade de informação desnecessária possível. Para isso, será utilizada uma técnica clássica e bem eficaz de segmentação de imagens, que permite este isolamento de setores por faixa permitindo o agrupamento por níveis de cinza, e no presente caso de forma binarizada (ver definição na subseção Limiarização) (GONZALEZ, 2019).

Na Figura 25 é possível analisar que quanto mais a direita, maior o aparecimento de branco e conseqüentemente mais opaca é a solução.

Figura 25 – Diferentes níveis de limiarização utilizando as amostras da Figura 6.

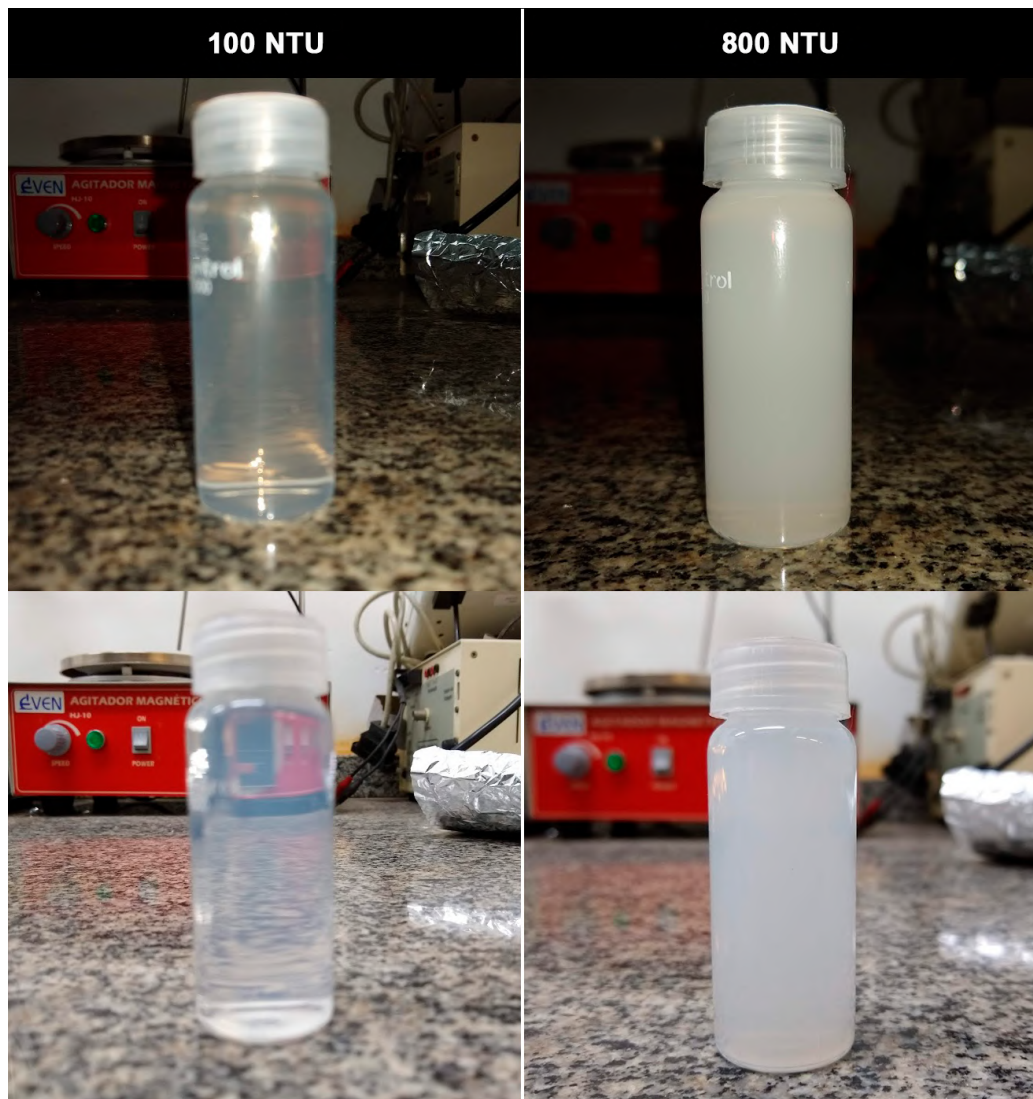


Alguns desses padrões são utilizados como reforço na medição que utiliza algoritmos de análise de turbidez do HydroColor (LEEUW; BOSS, 2018), assim é possível traçar médias de contagem de pixels mais escuros e mais claros, indicando possível presença de partículas suspensas na amostra.

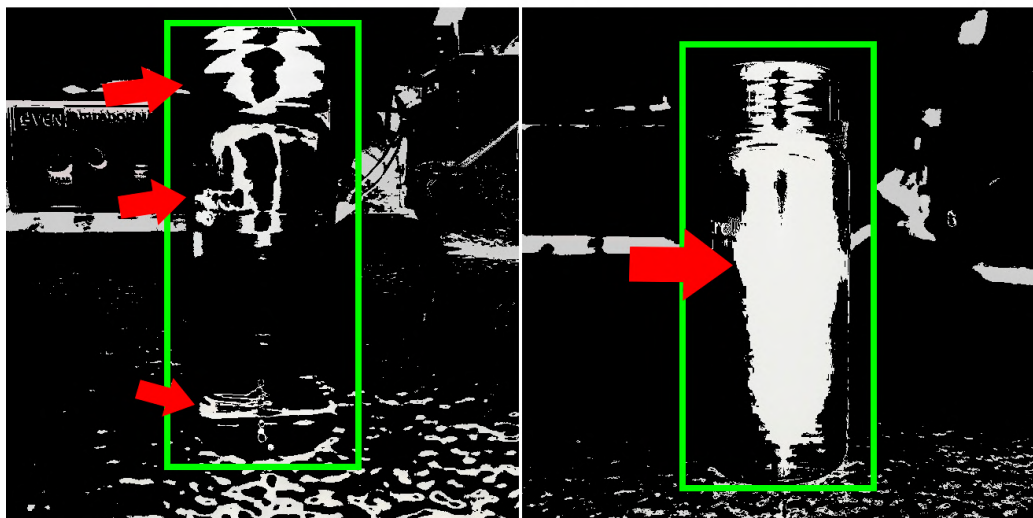
3.3 Subtração

Outra abordagem de grande importância, é utilizar o *flash* da câmera do dispositivo (se disponível), para que possa ser realizada uma diferenciação entre as duas imagens: uma capturada com *flash* e outra sem. A luz extra emitida no brilho obtém pontos que não foram capturados inicialmente, e fazendo a subtração das duas imagens, revela ainda mais detalhes sobre impurezas e partículas na amostra, melhorando a precisão.

Figura 26 – Comparação entre duas amostras a partir da subtração resultante da fotografia com e sem *flash*.



Subtração utilizando os pixels escuros



Utilizando a subtração de pixels escuros², é possível notar na Figura 26 que a medida que a turbidez é elevada, o coeficiente de branco também aumenta, algo que fornece uma métrica de reforço do quão translucido a amostra está, com base no desequilíbrio entre a fotografia inicialmente sem e posteriormente com *flash*.

3.4 Análise da Turbidez

Após os processamentos iniciais de extração e segmentação é necessário aplicar algoritmos que analisam a turbidez de fato, e é nesta etapa final que as técnicas desenvolvidas no **HydroColor** (LEEUW; BOSS, 2018) são importantes para obtenção dos dados. A métrica do LiquiQuali adapta a equação do HydroColor, visando incorporar os coeficientes obtidos, substituindo os valores anteriores referentes a luminosidade do céu e do cartão cinza, ambos que não são utilizados neste trabalho.

Para maior validação dos resultados e alternativas nas baterias de testes, foi utilizado o aplicativo HydroColor e os dados provenientes de sua medição, que é realizada à céu aberto. É uma abordagem diferente do que a estipulada neste trabalho, porém nos fornece melhores cenários de comparação entre as grandezas obtidas.

Nas experimentações iniciais deste trabalho, o método do HydroColor foi adaptado para contemplar as etapas de processamento de imagens. Assim, as variáveis utilizadas na equação de turbidez do HydroColor1, R_{rs} e a L_{rel} , foram substituídas pelos coeficientes obtidos na subtração e limiarização, respectivamente.

Os valores são padronizados pela abordagem *z-score*, cuja equação é definida pela subtração entre valor do dado (x) e a média (μ) de todos os dados, divididos pelo desvio padrão (σ), podendo ser visualizado na fórmula a seguir:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

O capítulo de Fundamentações Teóricas, necessariamente a subseção referente ao HydroColor, define as fórmulas utilizadas como referência para este trabalho, além de exemplos de medições realizadas por (LEEUW; BOSS, 2018), por meio de processos e fontes disponíveis na academia, especialmente na área química.

²O método de subtração de pixels escuros, ou *dark pixel subtraction*, se baseia na subtração de um valor de cinza determinado para cada banda individualmente, representando o efeito de espelhamento na imagem (CROSTA, 1992).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos diferentes métodos e abordagens apresentadas, verificando os melhores resultados para este cenário, a melhor aproximação analisada consiste nos seguintes elementos: as informações adquiridas através da imagens de uma câmera, o processamento para extração de características importantes, a realização das correlações entre os níveis de luminosidade dos pixels e valores provenientes do histograma de cores, e por fim, a aplicação dos algoritmos comuns de análise de turbidez.

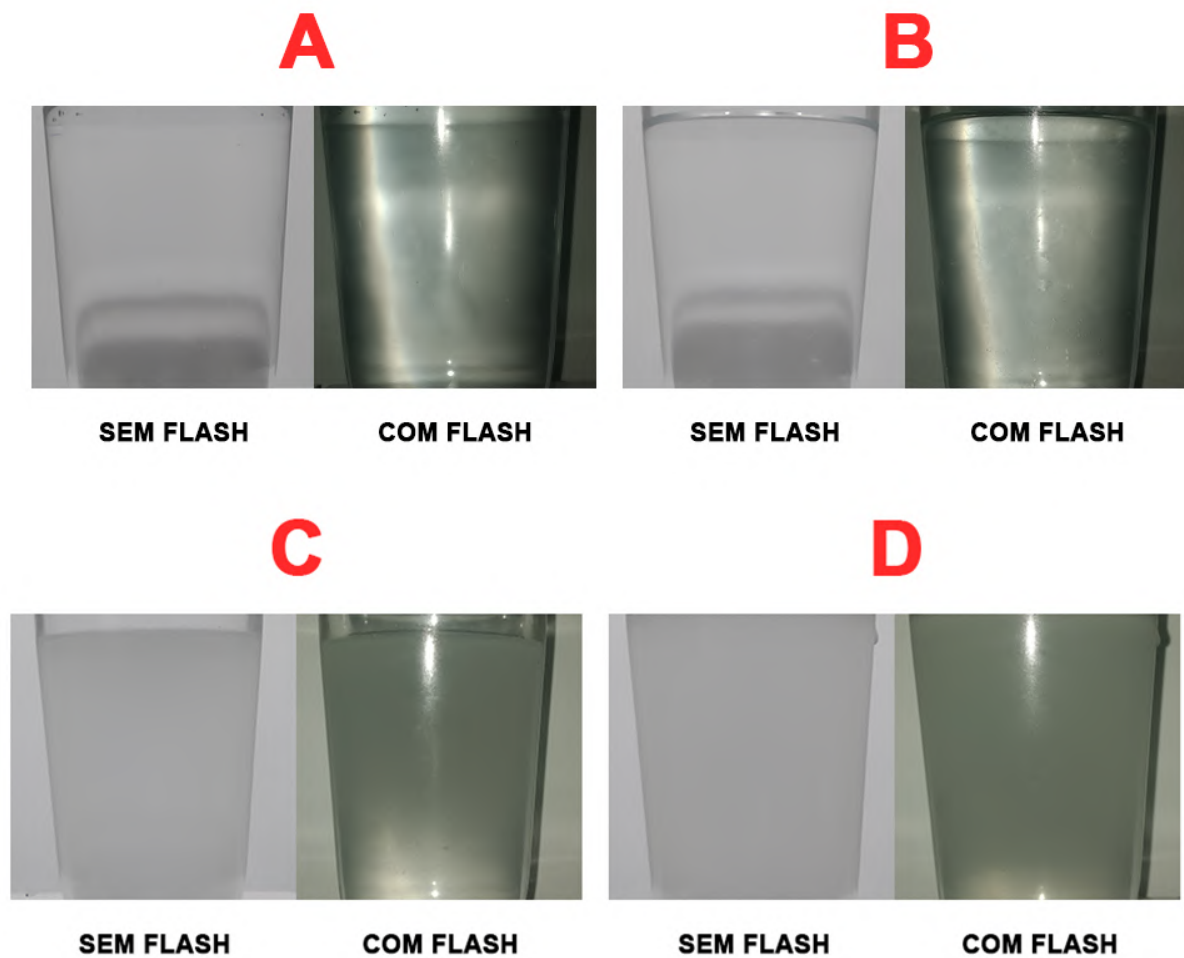
Os testes realizados são executados em ambiente controlado, visando diminuir o número de interferências externas como luzes indesejadas e fundos com muito ruído. Todo o processo é resumido pelas seguintes diretrizes:

1. Assegurar que as fotos sejam tiradas de um mesmo dispositivo.
2. Utilizar uma amostra de líquido dentro de um frasco ou embalagem o mais transparente possível.
3. Colocar a amostra à frente de uma parede branca ou um papel A4 de fundo.
4. É necessária uma fonte de luz uniforme, podendo ser a lâmpada do próprio cômodo.

Para a análise do algoritmo, ao final de cada execução, as informações são catalogadas e armazenadas para comparação com a análise feita por um **turbidímetro real**, utilizando as mesmas amostras e circunstâncias. Sendo assim, é possível analisar se as métricas estabelecidas pelo aplicativo conseguem manter um padrão de proximidade com os resultados do equipamento especializado.

Na Figura 27 estão dispostos 4 exemplos de amostras utilizadas nos testes de desenvolvimento. Todas as amostras são compostas por uma solução de água e sal de cozinha, uma mistura fácil de ser replicada fora do laboratório, e em diferentes concentrações para comparação dos resultados.

Figura 27 – Amostras utilizadas nos testes.



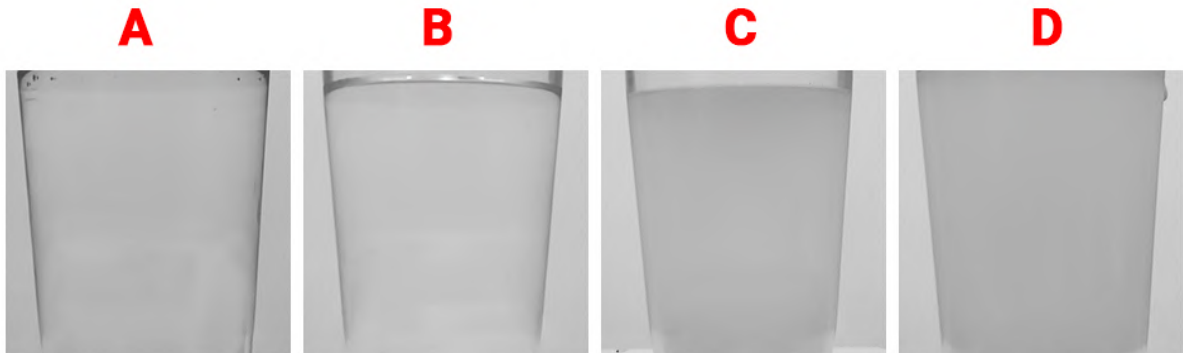
A seguir, são apresentados os dados obtidos em cada etapa de processamento. Cada processo é documentado e os resultados são validados e comparados, a fim de determinar se o procedimento em questão é necessário e contribui para a melhoria da acurácia da turbidez.

Nas próximas etapas, são utilizadas apenas as imagens sem *flash*, com exceção da etapa de subtração que também utiliza a imagem com *flash* para realizar a diferenciação entre ambas.

4.1 Contraste e Escala de Cinza

A Figura 28 apresenta a primeira etapa realizada nas imagens, que consiste na conversão para a escala de cinza (preto e branco), além de um aumento moderado no contraste para melhor detecção de impurezas.

Figura 28 – Amostras processadas em escala de cinza e com aumento de contraste.

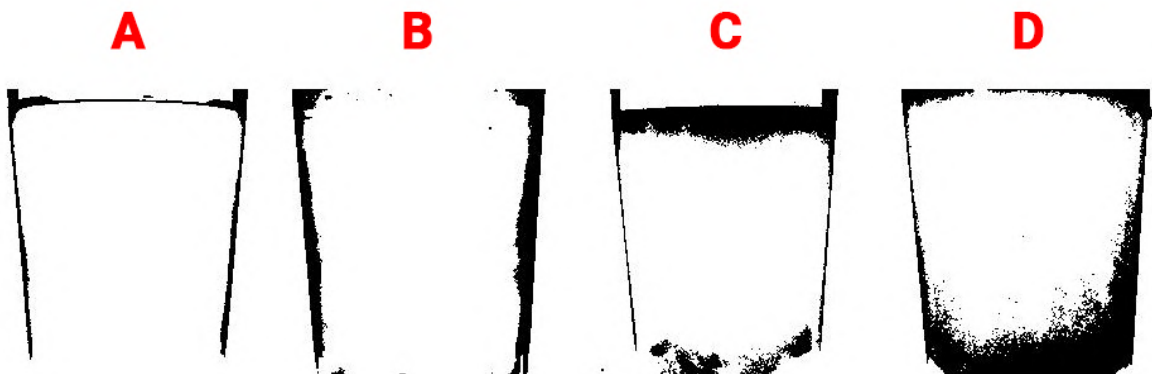


O uso da imagem colorida não é relevante, visto que o método apenas leva em consideração a luminosidade dos pixels e não a cor em si.

4.2 Segmentação

Neste passo, as imagens são submetidas a um coeficiente de limiarização escolhido de forma empírica após diversos testes, demonstrando uma padronização nos resultados conforme explicitado na Figura 29.

Figura 29 – Amostras limiarizadas.



Se a luminosidade do pixel for menor ou igual à 50%, é atribuído a cor preta, caso contrário a cor branca, como já definido na seção de Limiarização do referencial teórico (algoritmo 1). Ao final, é gerada a imagem binarizada composta pela parte mais clara da amostra (o líquido), e a parte mais escura com as possíveis impurezas.

Tabela 4 – Quantidade de pixels pretos por amostra.

Amostra	Montante de pixels escuros
A	4%
B	8%
C	11%
D	16%

A Tabela 4 apresenta os percentuais de pixels de cada amostra limiarizada. É realizada uma média do total de pixels pretos, com base no total de pixels da imagem. Assim, é possível obter o percentual da imagem que possui áreas escuras, indicando possíveis detritos ou sujeiras na amostra.

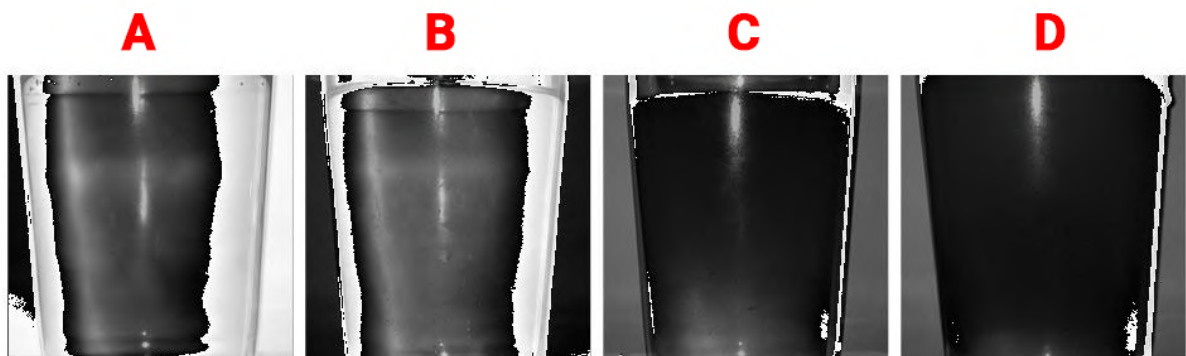
4.3 Subtração das Imagens

Após o passo anterior, são utilizadas as imagens com e sem *flash*, realizando uma subtração dos pixels e calculando-se o coeficiente de luminância da imagem final dado pela seguinte formulação:

$$Y = 0.2126 * R + 0.7152 * G + 0.0722 * B \quad (5)$$

Na Equação acima (5), a luminância geral (Y) é resultado da multiplicação de canal de cor (RGB) por uma constante (CROSTA, 1992).

Figura 30 – Amostras utilizadas nas subtração de imagens.



A Figura 30 apresenta a imagem resultante de cada subtração (definido na seção 2.2.6), e utilizando o cálculo da luminância em cada pixel, é realizada uma média desses valores com base em todos os pixels da imagem. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Percentual de luminância por imagem subtraída.

Amostra	Percentual de luminância
A	45%
B	52%
C	65%
D	74%

Na Tabela 5 encontram-se os percentuais de luminância de cada amostra, sendo perceptível na Figura 30 o nível de “escuridão” à medida que a turbidez aumenta. Esta escuridão gradual nada mais é do que o brilho da imagem resultante da subtração, corroborando o aumento da turbidez da mesma: quanto mais escura a imagem, mais opaca é a amostra.

4.4 Análise da Turbidez

A última etapa do processamento consiste em utilizar os algoritmos de turbidez do HydroColor, e verificar a turbidez média da imagem com base na reflectância geral calculada em cada pixel.

Por fim, os resultados anteriores são incorporados no cálculo final da turbidez (Equação 3), sendo métricas que complementam o método do aplicativo HydroColor. A Figura 32 mostra os resultados obtidos nos testes, com uma taxa de erro absoluto de $\pm 36\%$, se comparado às medições do método laboratorial.

Como definido na seção de Metodologia, os dados obtidos pelo algoritmo LiquiQuali nesta seção de Resultados, foram normalizados utilizando o *z-score* (Equação 4) com o objetivo de transformar todas as variáveis na mesma ordem de grandeza. O cálculo da média e desvio padrão da fórmula utilizam a própria amostragem coletada em diversas amostras.

A Tabela 6 apresenta os coeficientes obtidos na padronização mencionada anteriormente. Sendo assim, na primeira coluna está a amostra utilizada, e na segunda e terceira coluna estão os valores padronizados provenientes das tabelas 4 e 5. A segunda coluna (processo de limiarização), utiliza as imagens sem *flash* e a terceira coluna (subtração), as imagens com e sem *flash* subtraídas.

Tabela 6 – Coeficientes padronizados pelo *z-score*.


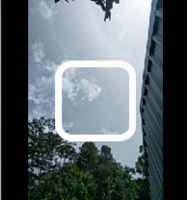
Amostra	Pixéis Escuros (Limiarização)	luminância (Subtração)
A	-2.36	-0.94
B	-0.7	-0.47
C	0.5	0.40
D	2.5	0.01

Nos testes, analisou-se uma limitação da faixa de operação desta aplicação. Para amostras cuja contagem de pixels pretos é próxima de zero na limiarização, a turbidez da amostra é quase nula, sendo de ± 0 NTU (translúcida). Já em amostras em que a luminância dos pixels é próxima de 100%, a turbidez da imagem estabilizou-se em ± 900 NTU, constatando uma amostra bastante turva.

Para fins de comparação, as mesmas amostras utilizadas no decorrer dos testes deste trabalho também foram aplicadas no aplicativo HydroColor. A Figura 31 apresenta a captura de tela de uma das amostras (Amostra B) utilizadas no HydroColor, sendo que o mesmo procedimento foi realizado com todas as amostras para fins de comparação.

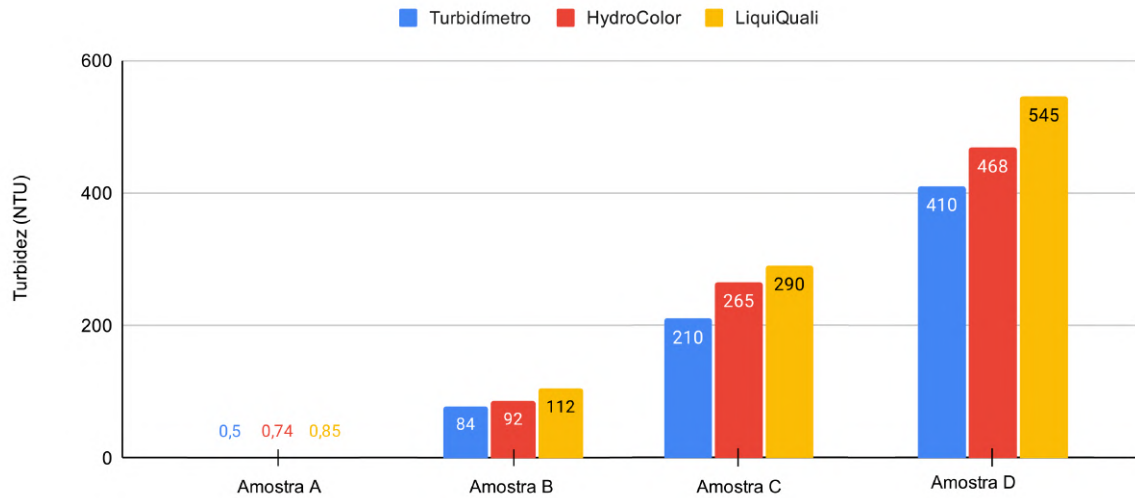
Figura 31 – Captura de Tela de uma das amostras no HydroColor.

bb Red	0.16±0.06 1/m
Reflec. Red	0.018±0.003 1/sr
Reflec. Green	0.015±0.002 1/sr
Reflec. Blue	0.013±0.002 1/sr
Latitude	-10.26546
Longitude	-48.29262

Gray Card	Sky	Water
		

Assim, é possível realizar um comparativo de eficácia e de aplicabilidade para cada aplicação, sendo o algoritmo apresentado por esse trabalho (LiquiQuali) voltado para ambientes internos, e o HydroColor, para ambientes externos.

Após a padronização dos dados, é utilizada a fórmula principal do HydroColor 3 para o cálculo de turbidez, gerando os resultados para comparação disponíveis na Figura 32.

Figura 32 – Comparação entre o Turbidímetro, HydroColor e LiquiQuali.

Estes primeiros resultados foram obtidos em um ambiente bem mais controlado do que se espera que aconteça no cotidiano, onde as interferências do mundo real podem prejudicar os resultados. Porém, o intuito principal foi alcançado ao testar a aplicação visando o máximo de assertividade para um celular, em um ambiente controlado.

A seguir, é apresentada a Figura 33 com as fotografias das mesmas amostras utilizadas anteriormente, porém em um ambiente não controlado a fim de encontrar um limiar de erro. Os mesmos métodos foram aplicados e os resultados podem ser visualizados na Tabela 7.

Figura 33 – Amostras nos testes em ambiente não controlado.

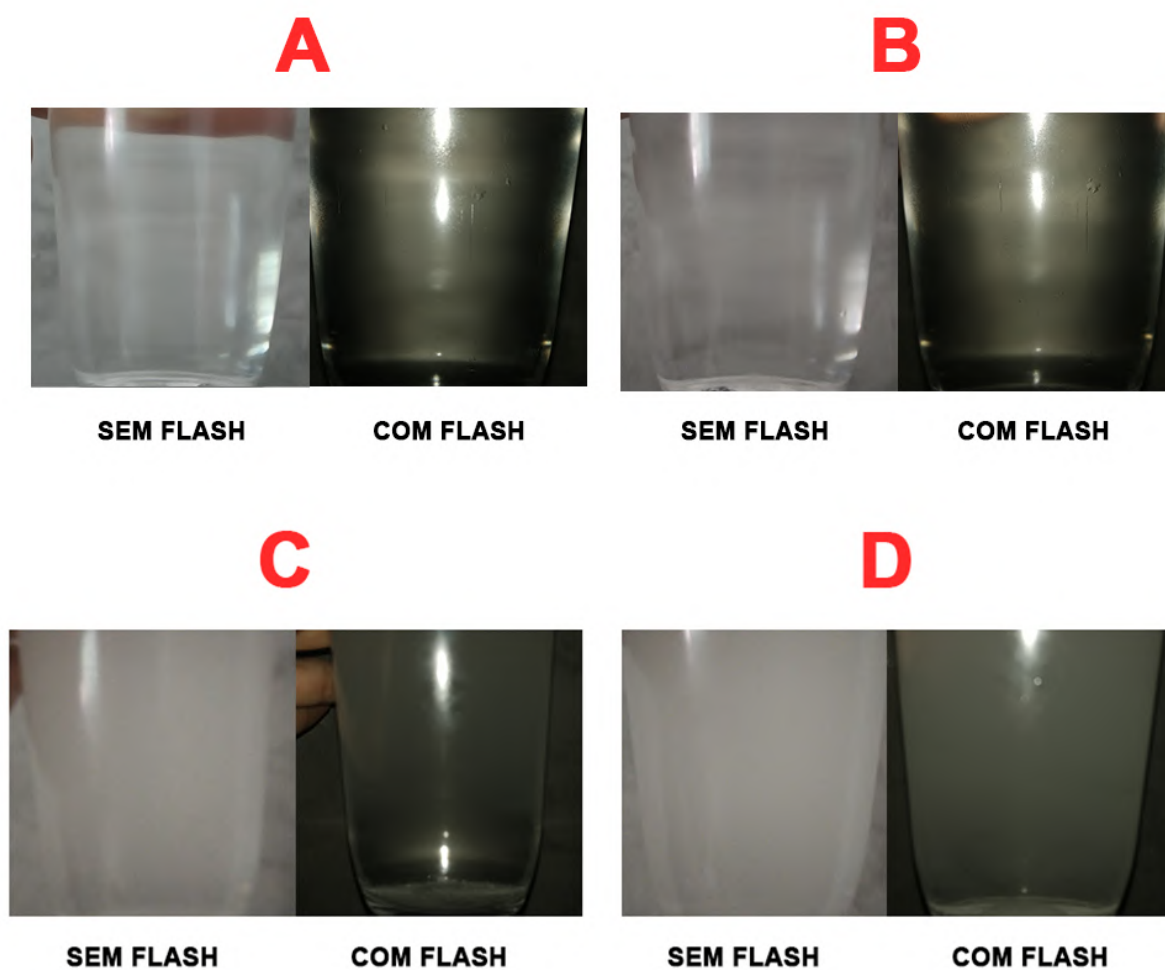


Tabela 7 – Resultados da análise de turbidez em ambiente não controlado.

Amostra	Turbidez (NTU) por método de laboratório	Turbidez (NTU) por processamento de imagens
A	0.5	1.25
B	84	134.4
C	240	394
D	410	661

Com estes resultados, é possível notar a diminuição da acurácia das medições em ambientes que fogem do esperado para a aplicação, com um taxa média do erro absoluto para $\pm 60\%$. Este aumento já é esperado, visto que a aplicação ainda não consegue tratar

artefatos muito discrepantes do esperado, abrindo assim espaço para futuros trabalhos de otimização com o uso de **visão computacional** e **aprendizado de máquina**.

Sendo assim, é esperado que a aplicação final para o público possa vir a apresentar taxas de erro consideráveis dependendo da forma que é utilizada. Para minimizar este problema, deve ser apresentado um tutorial de utilização na tela do aplicativo, recomendando o uso das diretrizes que foram utilizadas nesta seção de resultados.

5 CONCLUSÕES E PLANO DE SEQUÊNCIA DO TRABALHO

O presente trabalho apresentou uma pesquisa inicial relacionada a viabilidade de desenvolvimento de uma aplicação que analise a turbidez da água através da câmera de um *smartphone*. Os resultados apresentados são promissores para o desenvolvimento de uma versão inicial deste aplicativo.

Foram apresentados algumas diretrizes e procedimentos utilizados em turbidímetros reais, como também as alternativas implementadas em aplicações como o HydroColor. Tais algoritmos foram combinados a fim de gerar uma aplicação ainda mais sólida, unindo os pontos altos dos trabalhos relacionados citados neste trabalho.

Durante os testes foi constatada uma necessidade de implementação de uma função de calibragem no aplicativo. Como é provável que os ambientes mudem, assim como sua fonte de iluminação, possivelmente os coeficientes dos algoritmos de limiarização e turbidez por exemplo, não se adequaram de forma similar. Sendo assim, é necessária a introdução de um passo anterior de calibração, para que os algoritmos se adaptem as diferentes condições, em especial o balanço de branco.

O intuito da aplicação é ser prática e rápida para o usuário, sendo assim, as imagens já são capturadas de forma compactada, e codificadas em um formato que reduza seu tamanho, como o “.png” e o “.jpg”. Porém, com isto é possível que ocorram eventuais perdas de informação acerca do objeto capturado e das informações luminosas. Sendo assim, futuramente podem ser realizadas mudanças que utilizem as informações brutas da imagem, contendo muito mais informações e em formato maior, o **RAW**¹.

Por fim, outro ponto importante e já levantado é sobre a utilização de inteligência artificial para aprimorar os resultados, devendo ser realizado um novo estudo visando encontrar algoritmos de identificação de objetos errantes e classificadores de padrões para as amostras coletadas. No aplicativo, devem ser incorporadas cláusulas que estejam de acordo com a LGPD², permitindo a coleta de todas as imagens registradas (sem identificação do usuário), servindo como bases de dados para os treinamentos futuros.

O aplicativo deve ser construído utilizando o que há de mais recente em *frameworks* de desenvolvimento móvel, como é o caso do *Flutter*, o novo produto da *Google*. O Flutter produz código nativo, integração fiel ao *hardware* do dispositivo e alta produtividade ao desenvolver as telas do *app*.

¹É um formato cru, que contém a totalidade dos dados da imagem tal como captada pelo sensor da câmera fotográfica (CROSTA, 1992).

²Lei Geral de Proteção de Dados, que entrou em vigor em 2020 (ALECRIM, 2020).

Todo este processo culminará para que ao final, o *app* seja disponibilizado nas principais lojas de aplicativos do mercado, seja na ***Play Store*** (Android), quanto na ***Apple Store*** (iOS).

Juntamente a esta distribuição ao público, serão analisados também os requisitos pertinentes à distribuição, licenças e políticas de uso e privacidade. E por fim, os valores de monetização e arrecadação de recursos para manutenção e custeio do projeto, bem como seu desenvolvimento e manutenção.

REFERÊNCIAS

- ALECRIM, E. **O que você deve saber sobre a lei de proteção de dados pessoais do Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/250718/lei-geral-protecao-dados-brasil/>>.
- CROSTA, A. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. UNICAMP/Instituto de Geociencias, 1992. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=xKnbZwEACAAJ>>.
- EPA, U. Guidance manual for compliance with the interim enhanced surface water treatment rule: Turbidity provisions. **Ofce. of Water Washington**, 1999.
- FILHO, M. S. K. O. **A Esfera Celeste**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.
- GILLETT, D.; MARCHIORI, A. A low-cost continuous turbidity monitor. **Sensors**, v. 19, p. 3039, 07 2019.
- GONZALEZ, R. E. W. R. C. Processamento digital de imagens. **SERBIULA (sistema Librum 2.0)**, 10 2019.
- GROUP, P. W. T. A. Treatment quality standards for pools and spas. U.S. Geological Survey, 2017.
- INC., W. P. **Aldest Water Treatment**. 2012. Disponível em: <<http://www.watsonpools.ca/com-aldest-water.asp>>.
- KARNAWAT, V.; PATIL, S. Turbidity detection using image processing. p. 1086–1089, 04 2016.
- KOERTGE, H. H. The turbidity of public swimming pool waters. **American journal of public health and the nation's health**, v. 60, p. 138–50, 02 1970.
- LABOR, M. **Turbidímetro**. 2011. Disponível em: <<https://www.maxlabor.com.br/blog/turbidimetro>>.
- LEEuw, T.; BOSS, E. The hydrocolor app: Above water measurements of remote sensing reflectance and turbidity using a smartphone camera. **Sensors**, v. 18, p. 256, 01 2018.
- MARTINS, G. S. Construção de um turbidímetro de baixo custo para controle de qualidade de efluentes industriais. **UNICAMP**, 02 2013.
- MOBLEY, C. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. **Applied optics**, v. 38, p. 7442–55, 01 2000.
- NASCENTES, M. C. C. Química ambiental. **UFMG**, 2011.
- OGE, V. N. H. M. F. Processamento digital de imagens. **Brasport**, 10 1909.

OMAR, A.; JAFRI, M. Z. M. Turbidimeter design and analysis: A review on optical fiber sensors for the measurement of water turbidity. **Sensors (Basel, Switzerland)**, v. 9, p. 8311–35, 10 2009.

PALINTEST. Measuring turbidity in swimming pools. Palintest - Water Analysis Technologies, 2019.

RICE, E. W. The preparation of formazin standards for nephelometry. **Analytica Chimica Acta**, v. 87, p. 251–253, 11 1976.

SWANSON, H.; BALDWIN, H. A primer on water quality. U.S. Geological Survey, 1965.

TURBIDITY TMDL Protocols and Submittal Requirements. **Johnson, Greg and Gervino, Nick and Gunderson, Larry and Hotka, Louise and Macgregor, Molly and Vavricka, Mike and Thompson, Bill and Ganske, Lee and Leach, Maggie and Schaub, Tom and Zadak, Chris and Klang, Jim**, 01 2006.

WATERSHED, A. **Turbidity Measurement**. Environmental Monitor, 2010. Disponível em: <<https://www.fondriest.com/news/turbiditymeasurement.htm>>.