



THIAGO JUVENAL RIBEIRO

**MEDIÇÃO DE TURBIDEZ DE ÁGUA A PARTIR DE IMAGENS
PROCESSADAS POR ELETRÔNICA DIGITAL EMBARCADA**

**LAVRAS – MG
2018**

THIAGO JUVENAL RIBEIRO

**MEDIÇÃO DE TURBIDEZ DE ÁGUA A PARTIR DE IMAGENS PROCESSADAS POR
ELETRÔNICA DIGITAL EMBARCADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Instrumentação, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior
Orientador

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana
Coorientador

**LAVRAS – MG
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Ribeiro, Thiago Juvenal.

Medição de Turbidez de Água a partir de Imagens Processadas por Eletrônica Digital Embarcada / Thiago Juvenal Ribeiro. - 2018.
59 p.

Orientador(a): Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior.

Coorientador(a): Prof. Dr. Dimitri Campos Viana.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Tratamento de água. 2. Medidores de turbidez de processo.
3. Arduino. I. Júnior, Prof. Dr. Roberto Alves Braga. II. Viana, Prof. Dr. Dimitri Campos. III. Título.

THIAGO JUVENAL RIBEIRO

**MEDIÇÃO DE TURBIDEZ DE ÁGUA A PARTIR DE IMAGENS PROCESSADAS POR
ELETRÔNICA DIGITAL EMBARCADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Instrumentação, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de setembro de 2018.

Dr. Dimitri Campos Viana UFLA

Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira UFLA

Dr. Paulo Henrique Cruz Pereira CEFET-MG

Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior

Orientador

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana

Co-Orientador

**LAVRAS – MG
2018**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Maria Rita e Norivaldi, irmãos Diogo e Sirley e aos amigos, pelo apoio, conversas e conselhos, que tiveram muita importância para mim nesta caminhada durante o mestrado.

Aos companheiros de República e agregados, pela convivência e amizade, desde a graduação até o encerramento do mestrado.

Aos meus orientadores, professor Roberto Alves Braga Junior e professor Dimitri Campos Viana, pela orientação, paciência e todos os ensinamentos que me passaram.

Aos colegas de laboratório do CEDIA, pela amizade, colaboração em momentos de dúvidas e ideias construtivas quando necessário.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia pela oportunidade de realização do mestrado, pela infraestrutura fornecida para o desenvolvimento da pesquisa e pelos conhecimentos adquiridos.

E ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A água é uma substância essencial para a vida humana, seja para hidratação por meio de ingestão direta, preparo de alimentos, nas indústrias e na agricultura e, ou simplesmente para lazer. Devido sua importância, é fundamental avaliar sua qualidade, pois uma água de má qualidade pode trazer riscos à saúde ao ser ingerida. Muitas localidades no Brasil ainda não possuem o acesso a água tratada, principalmente nas regiões afastadas dos centros urbanos. Portanto, as inovações tecnológicas relacionadas ao tratamento de água para estações de pequeno porte estão sendo desenvolvidas, para que moradores de áreas mais afastadas dos centros urbanos também possam utilizar águas em boa qualidade. De forma a contribuir com a sociedade, no presente trabalho, foi implementado um sistema de monitoramento da qualidade da água, por meio de um medidor de turbidez utilizando eletrônica digital embarcada via placa Arduino para abrir e fechar válvulas de forma a realizar a coleta automática das amostras de água, além de processamento e conversão da intensidade luminosa das imagens para uma escala de turbidez, com um custo de R\$450,00, muito inferior se comparado com os medidores tradicionais de processos encontrados no mercado, variando na faixa de R\$28.890,00. O trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras e na Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Lavras (ETA/UFLA). Observou-se que amostras com argila e café solúvel em grânulos, ambos dissolvidos em água mineral, apresentaram comportamento diferentes nas curvas de calibração do equipamento, mostrando ser necessário a calibração com amostras que contenham as características físicas da água bruta aportada à ETA/UFLA. O aparelho desenvolvido apresentou boa eficiência na medição de turbidez, obtendo boa precisão em uma faixa inferior a 1 até 1000NTU, sendo suficiente para se considerar uma amostra de água apropriada para consumo segundo a organização mundial da saúde.

Palavras-chave: Tratamento de Água. Medidores de Turbidez de Processo. Arduino.

ABSTRACT

Water is an essential substance for human life, whether in hydration purposes, as ingestion and preparation of food, in industry, in agriculture, as well for simply recreation. Due to its importance, it is fundamental to evaluate its quality, since a poor quality water can results in health risks when consumed. Many localities in Brazil still do not have access to treated water, especially in regions away from urban centers. Knowing this, technological innovations related to water treatment for small stations are being developed, that way, residents of areas far from urban centers can also use good quality water. In order to contribute to society, in the present work, a water quality monitoring system was implemented, consisting of turbidity meter that uses digital electronics boarded through arduino board, for the opening and closing valves control, aiming automatic water samples collecting, besides processing and converting the luminous intensity of images to a turbidity scale, with a cost of R\$ 450.00, much lower than the traditional process meters found in the market, reaching values up to R\$ 28,890,00. The work was carried out in the Engineering Department of Federal University of Lavras and in the Water Treatment Plant of the Federal University of Lavras (ETA / UFLA). It was observed that samples with clay and granule-soluble coffee, both dissolved in mineral water, presented different behavior in calibration curves of the equipment, showing that raw water samples from ETA/UFLA calibration was necessary. The developed device showed good efficiency in the turbidity measurement, obtaining good precision in a range of less than 1 to 1000NTU, range of value within the parameters for consumption, according to the World Health Organization.

Keywords: Water Treatment. Process Turbidity Meters. Arduino

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Faixas de turbidez da água e suas respectivas concentrações ótimas de sulfato de alumínio e cloreto férrico para a ETA do Funil e de Mata do seminário.....	16
Figura 2.2 – Processos de tratamento convencional em uma estação de tratamento de água.....	17
Figura 2.3 – Estação de tratamento de água Benedito Tibúrcio Barbosa localizada na Universidade Federal de Lavras.....	18
Figura 2.4 – Esquemático de represamento da água para abastecimento da estação de tratamento de água da Universidade Federal de Lavras.....	18
Figura 3.1 – Diagrama esquemático do equipamento implementado em uma câmara escura 40x25x15cm (comprimento x altura x profundidade).....	25
Figura 3.2 – Ligações realizadas entre os componentes eletrônicos.....	26
Figura 3.3 – Controle de entrada e saída do líquido no reservatório.....	27
Figura 3.4 - Processo para obter a média da tonalidade da imagem em escala de cinza (0 a 255) e conversão para escala NTU.....	28
Figura 3.5 – Diagrama de blocos do sistema implantado na ETA da UFLA.....	32
Figura 3.6 – Amostras de água para o primeiro teste de validação do equipamento construído.....	33
Figura 4.1 – Curva de calibração para o experimento com argila dissolvida em água mineral.....	35
Figura 4.2 – Curvas de calibração para o experimento com argila dispersa em água mineral.....	35
Figura 4.3 – Validação do equipamento construído para o experimento com argila dispersa em água mineral. Com $R^2 = 99,80\%$	36
Figura 4.4 – Curva de calibração para o experimento com café solúvel dissolvido em água mineral...38	
Figura 4.5 – Curvas de calibração para o experimento com café solúvel em água mineral.....	38
Figura 4.6 – Validação do equipamento construído para o experimento com café solúvel dissolvido em água mineral. Com $R^2 = 99,98\%$	39

Figura 4.7 – Curva de calibração para o experimento realizado na estação de tratamento de água da UFLA.....	40
Figura 4.8 – Curvas de calibração para o experimento realizado na estação de tratamento de água da UFLA.....	41
Figura 4.9 – Validação do equipamento construído para amostras de água coletadas da represa de abastecimento da ETA da UFLA. Com $R^2 = 99,93\%$	42
Figura 4.10 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação ao turbidímetro auxiliar para o teste de validação em tempo real na ETA da UFLA. Com erro quadrático médio entre as semanas analisadas de 11,91%.....	43
Figura 4.11 – Dados da quantidade de chuva em (mm) nos dias de junho de 2018.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Controle de vazão, turbidez média da água bruta que chega e a que sai da estação após o tratamento no período de janeiro a junho de 2018 da ETA da UFLA.....	19
Tabela 3.1 – Descrição dos pinos do módulo ov7670.....	22
Tabela 3.2 – Tratamentos contendo diferentes concentrações de argila dissolvida em 900mL de água mineral para calibração do medidor implementado.....	29
Tabela 3.3 – Tratamentos contendo diferentes concentrações de argila dissolvida em 900ml de água mineral para teste validação.....	30
Tabela 3.4 – Tratamentos contendo diferentes concentrações de café solúvel dissolvidos em 900mL de água mineral para calibração do medidor.....	30
Tabela 3.5 – Tratamentos contendo diferentes concentrações de café solúvel em grânulos dissolvidos em 900mL de água mineral para teste validação.....	31
Tabela 3.6 – Esquema experimental para a medição das intensidades luminosas (tonalidades de cinza entre 0 e 255) e turbidez medida pelo aparelho de bancada para as 35 amostras de calibração para experimento (Argila ou café solúvel).....	31
Tabela 4.1 – Intensidade luminosa medida pelo equipamento construído e turbidez medida pelo turbidímetro auxiliar para as 35 amostras de água para o experimento de calibração com argila.....	34
Tabela 4.2 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação com a turbidímetro tradicional no teste de validação de amostras de água contendo argila dispersa em água mineral. Erro quadrático médio entre os tratamentos analisados de 15,70%.....	36
Tabela 4.3 – Intensidade luminosa medida pelo equipamento construído e turbidez medida pelo turbidímetro auxiliar para as 35 amostras de água para o experimento de calibração com café solúvel.....	37

Tabela 4.4 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação com a turbidímetro tradicional no teste de validação de amostras de água contendo argila dispersa em água mineral. Erro quadrático médio de 15,48%.....	39
Tabela 4.5 – Intensidade luminosa medida pelo equipamento construído e turbidez medida pelo turbidímetro auxiliar para as cinco amostras de água para a calibração do equipamento na estação de tratamento de água da UFLA.....	40
Tabela 4.6 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação com o turbidímetro auxiliar no teste de validação de amostras de água coletadas da represa de abastecimento da ETA Erro quadrático médio de 11,83%.....	42
Tabela 4.7 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação ao turbidímetro auxiliar para o teste de validação em tempo real na ETA da UFLA. Com erro quadrático médio entre as semanas analisadas de 11,91%.....	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivo Geral.....	14
1.2	Objetivos Específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Impurezas da Água.....	15
2.2	Características Físicas da Água.....	15
2.3	Tratamentos de Água.....	16
2.4	Estações de Tratamento de Água de Pequeno Porte.....	18
2.5	Medidores de Turbidez.....	20
2.6	Eletrônica Digital Embarcada.....	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1	Materiais.....	22
3.2	Microcontrolador placa Arduino em substituição dos Microcomputadores.....	25
3.3	Calibração e validação do equipamento construído.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSÃO.....	34
5	CONCLUSÃO.....	45
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
	ANEXO A – Algoritmo para medição automática de turbidez.....	49
	ANEXO B – Orçamento de um turbidímetro de processo.....	58

1 INTRODUÇÃO

A água, além de suas utilidades no preparo de alimentos, lazer, indústrias e na agricultura, é essencial à vida por meio de ingestão direta para a hidratação dos seres vivos. Portanto, devido sua importância, é fundamental conhecer a sua qualidade, pois o seu consumo pode trazer riscos à saúde.

Uma amostra de água pode apresentar características físicas que auxiliam no monitoramento da qualidade da água, as principais são turbidez e cor. A turbidez pode ser medida como sendo o grau de redução que a luz sofre ao atravessar uma certa quantidade de água, e a cor é, geralmente, resultado da decomposição de matéria orgânica e intemperismo de rochas.

As impurezas presentes no solo que são carregadas pela água até ao local de análise, geralmente as estações de tratamento de água (ETA), definem a característica da amostra de água analisada, podendo possuir alto grau de turbidez e baixa cor verdadeira, ou o contrário. Conhecer essas características, turbidez e cor, auxiliam para obter uma boa eficiência no tratamento da água, uma vez que é sabido que o valor de pH, turbidez e cor definem o comportamento dos coagulantes químicos utilizados nas ETA.

Em ETA, objetiva-se o tratamento com águas provindas de mananciais de superfície, podendo conter compostos orgânicos e inorgânicos, microrganismos e partículas em suspensão, objetivando o tratamento dessas águas para o consumo humano. Mas devido ao aumento populacional e da intervenção do homem no meio ambiente, ter acesso à água tratada está vez mais difícil e caro, principalmente em localidades dos ambientes rurais, em que apenas 30,33% das zonas rurais brasileiras possuíam acesso a água tratada no ano de 2014 (BRASIL, 2016).

Diante dos fatos, as inovações tecnológicas relacionadas ao tratamento de água para estações de pequeno porte estão sendo desenvolvidas, para que as localizadas mais afastadas dos centros urbanos, também possam utilizar água de boa qualidade. Porém, o custo operacional de uma estação, mesmo sendo de pequeno porte, ainda possui um valor elevado.

Os medidores de turbidez tradicionais se baseiam em um sensor que converte a intensidade luminosa que atravessa a amostra em um sinal elétrico. Mas em trabalhos já realizados por outros pesquisadores, mostram que, de forma alternativa, pode-se avaliar a intensidade que é retida pela amostra, usando microcomputadores para armazenar e processar imagens capturadas por uma câmera, porém a técnica ainda possui um custo elevado para sua implantação em ETA.

Portanto, de forma a poder contribuir com a sociedade, no presente trabalho foi implementado um sistema de monitoramento da qualidade da água, por meio de um medidor de turbidez automático com custo muito inferior aos medidores de turbidez de processos tradicionais encontrados no mercado, R\$450,00 contra R\$28.890,00.

Eletrônica digital embarcada via placa Arduino foi utilizada para abrir e fechar válvulas de forma a realizar a coleta automática de amostras de água, além de processamento e conversão da

intensidade luminosa das imagens para uma escala de turbidez. O trabalho foi realizado em laboratório e na estação de tratamento de água da Universidade Federal de Lavras.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi a implementação de uma técnica para medição de turbidez da água de abastecimento em estações de tratamento de água de pequeno porte a partir de imagens capturadas por eletrônica digital embarcada utilizando placa Arduino, compondo um sistema de controle automático de baixo custo para medição de turbidez, contribuindo para o monitoramento da qualidade da água.

1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos cinco objetivos específicos:

- ✓ Avaliação da capacidade da eletrônica digital embarcada de baixo custo via placa Arduino Uno para processamento de imagens.
- ✓ Desenvolvimento de uma rotina de controle automático para coleta e medição de turbidez de amostras de água.
- ✓ Medição de intensidade luminosa pelo equipamento construído a partir de amostras de água preparadas em laboratório e coletadas da estação de tratamento de água da UFLA.
- ✓ Conversão da intensidade luminosa para escala de turbidez, com o auxílio de um turbidímetro de bancada.
- ✓ Testes de validação em laboratório e na estação de tratamento de água para analisar a confiabilidade do equipamento construído.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Impurezas da Água

O papel essencial da água para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento das sociedades é de conhecimento geral nos últimos séculos, mas nos últimos anos tem-se agravado continuamente os problemas relacionados à poluição dos mananciais, principalmente em decorrência do desenvolvimento agrícola e industrial (SILVEIRA & COUTINHO, 2016), o que demanda maior esforço para o tratamento da água. Ao mesmo tempo, sabe-se que a disponibilidade da água na natureza tem sido insuficiente para atender à demanda em muitas regiões do planeta.

Uma água não tratada pode conter muitas impurezas, sendo as principais: compostos orgânicos dissolvidos e matéria em suspensão, compostos inorgânicos, bactérias, algas, fungos, sólidos dissolvidos e partículas coloidais (RICHTER, 2011, p. 340). Essas impurezas presentes na água podem ocasionar diversas doenças ao serem consumidas quando não tratadas (CAIXETA et al., 2017).

As impurezas podem apresentar partículas em suspensões e coloidais. As partículas em suspensão possuem diâmetros que variam de 10^{-3} a 10^{-1} mm e as partículas coloidais podendo variar de 10^{-6} a 10^{-3} mm. É possível realizar a separação das partículas de suspensões por meio de sedimentação ou flotação, mas as partículas coloidais, por ter seu tamanho muito reduzido, é necessário a adição de produtos químicos (sais de ferro e alumínio) na água bruta, processo denominado de coagulação. Por meio da adição destes produtos químicos, ocorre a união destas partículas no processo posterior do tratamento da água, chamado processo de floculação (BOTARI et al., 2016).

2.2 Características Físicas da Água

Massa e peso específico, viscosidade, tensão superficial, odor, sabor, turbidez e cor, são algumas das características físicas da água. Sendo que as mais utilizadas em uma estação de tratamento de água são a turbidez e a cor.

A turbidez pode ser definida como sendo o grau de redução que a luz sofre ao atravessar uma certa quantidade de água (OLIVEIRA, 2018), devido à presença das partículas e substâncias que esta contém. Segundo Lepsch (2016), a água tem seu grau de turbidez elevado geralmente no período chuvoso, que, por meio de seus caminhos de escoamento na superfície do solo, carregam partículas de areia e argila. As argilas são formadas basicamente por argilominerais compostos de silicatos hidratados de alumínio e ferro, com certo teor de elementos alcalinos e alcalinos terrosos, partículas de quartzo, pirita, calcita e outros minerais residuais (VAZ, 2010).

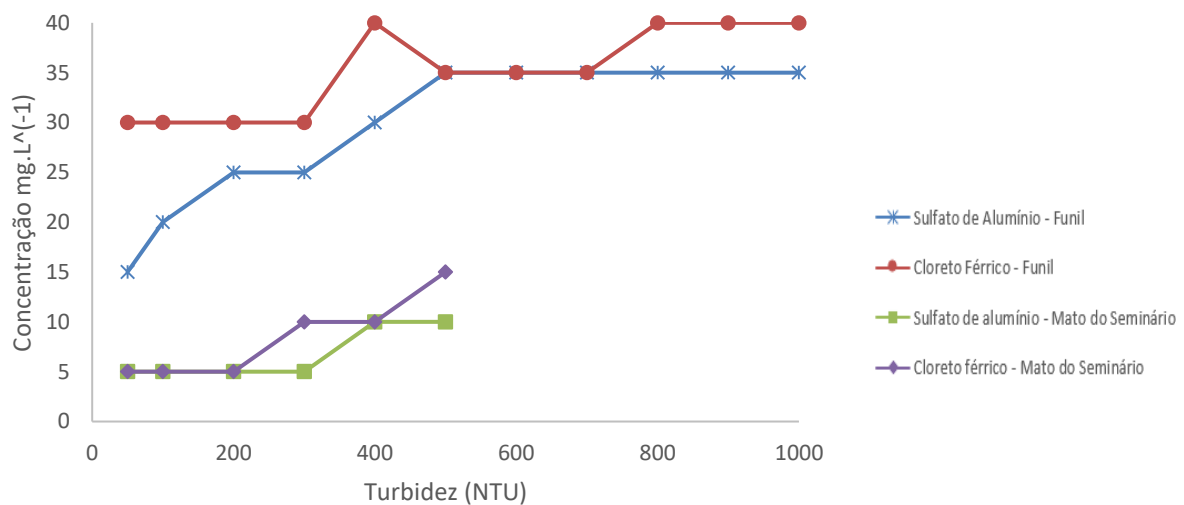
Segundo Rôla (2016), a cor da água é, geralmente, resultado da decomposição da atividade de microrganismos em resíduos de atividades humanas e por compostos orgânicos de origem vegetal. Com

a decomposição da matéria orgânica natural, ocorre a formação das substâncias húmicas, classificadas de acordo com a solubilidade em diferentes condições.

Uma água pode possuir elevada turbidez e baixa cor verdadeira, ou pode apresentar alta cor verdadeira e baixa turbidez (PAVANELLI, 2001). Diante deste fato, Di Bernardo e Dantas (2005, p.1565) e Richter (2011, p. 340) sugerem que é importante conhecer características como pH, turbidez e cor da água ser tratada para compreender como os coagulantes químicos irão atuar na água em questão.

Um trabalho realizado por Franco (2009), apresenta que é importante se conhecer o tipo da água ser analisada em uma estação de tratamento de água. Pois, para encontrar a concentração correta dos coagulantes químicos sulfato de alumínio e cloreto férrico, foi mostrado que amostras de água bruta com mesmos níveis de turbidez, necessitam de diferentes concentrações ótimas para o tratamento de água na estação do Funil (situada no distrito de Cachoeira do Campo no município de Ouro Preto – MG) e na estação de tratamento de água de Mata do Seminário (município de Mariana – MG), como mostra a Figura 2.1.

Figura 2.1 – Faixas de turbidez da água e suas respectivas concentrações ótimas de sulfato de alumínio e cloreto férrico para a ETA do Funil e de Mata do seminário.



Fonte: Franco (2009).

2.3 Tratamento de Água

A qualidade da água interfere diretamente na vida de uma pessoa, sendo até considerado como um indicador universal de desenvolvimento humano (SALGE et al., 2007), mas devido ao aumento da população mundial e da intervenção do homem nos ambientes urbano e rural (AMARAL et al., 2006), ter acesso a água tratada aos domicílios está cada vez mais difícil, principalmente em localidades afastadas dos ambientes urbanos. Diante desses fatos, destaca-se a importância de se realizar o tratamento da água.

Em uma estação de tratamento de água, removem-se as impurezas encontradas nas fontes de água doce, envolvendo combinações entre métodos físicos e químicos (CARDOSO et al., 2008). A tecnologia a ser empregada para definir o tipo de tratamento da água depende da classe em que a água está enquadrada (CONAMA, 2005), podendo ser: classe especial e classes de 1 a 4.

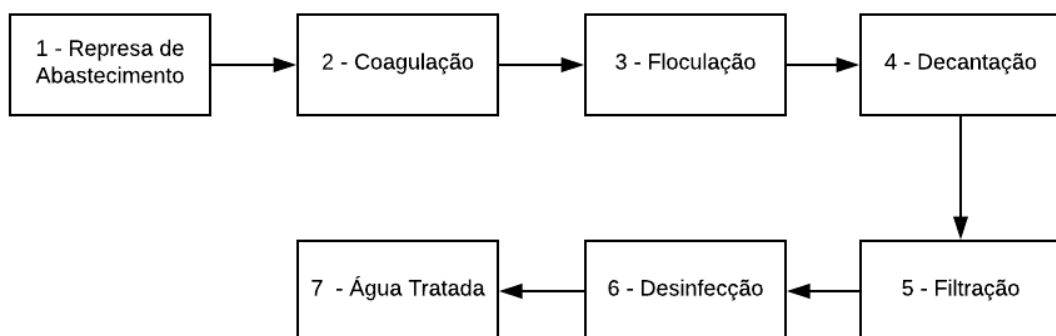
Águas de classe especial são encontradas em aquíferos ou poços artesianos, necessitando apenas do tratamento de desinfecção da água para se tornar apropriada ao consumo humano. Águas de classe 1 são geralmente encontradas em nascentes e cisternas, o tratamento dessas águas ao abastecimento para o consumo humano envolve técnicas de remoção das impurezas por meio de filtração e desinfecção da água. As águas classe 2 são provindas de rios e lagos e é destinada ao abastecimento para consumo humano após o tratamento convencional, envolvendo a utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH. Águas de rios em trechos urbanos são classificadas como classe 3, em que para o consumo humano deve ser feito o tratamento avançado, envolvendo técnicas de remoção de impurezas refratárias, proporcionando à água características como cor, odor e sabor. A classe 4 são águas de rios muito poluídos, em que mesmo realizando o tratamento avançado, água ainda continua imprópria ao consumo humano.

Como pode ser observado na Figura 2.2, em uma estação de tratamento convencional da água, primeiramente, ocorre o processo de captação da água em represas de abastecimento provindas de rios e nascentes. No segundo processo, acontece a coagulação, em que é adicionando coagulantes químicos para ocorrer a união das partículas impurezas (GOMES, 2011 & LIBÂNIO, 2010), sendo que os mais utilizados nas estações são o sulfato de alumínio ou o cloreto férrico.

Em seguida, ocorre o processo de floculação, em que a água é agitada lentamente para ajudar a união das impurezas, formando os flocos (CARDOSO, et al., 2008). O próximo passo é a decantação, onde os flocos mais pesados se depositam no fundo do tanque e são descartados (LIBÂNIO, 2010). E os flocos mais leves são removidos na etapa de filtração, em que a água passa por um filtro envolvendo camadas de areia, carvão e cascalho, retirando também o odor da água (SKORONSKI, et al., 2014).

Para finalizar o tratamento, ocorre o método de desinfecção, em que é adicionado cloro, para eliminar os microrganismos, e cal para corrigir o pH da água. (LIBÂNIO, 2010).

Figura 2.2 – Processos de tratamento convencional em uma estação de tratamento de água.



Fonte: Do autor (2018).

2.4 Estações de Tratamento de Água de Pequeno Porte

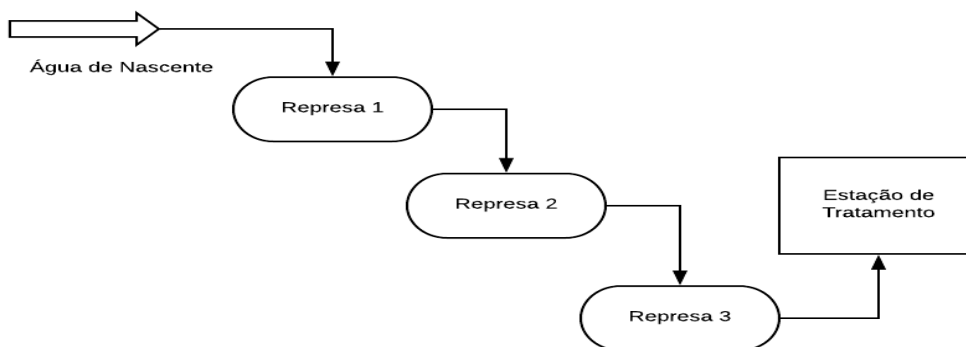
Estações de tratamento de água de pequeno porte tem capacidade para tratar volumes inferiores a $12L.s^{-1}$. Um exemplo é a estação de tratamento de água Benedito Tibúrcio Barbosa (Figura 2.3), localizada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A água que chega à estação é bombeada da represa 3 (Figura 2.4), sendo armazenada em duas represas a montante para obter uma água mais limpa por processo natural de decantação.

Figura 2.3 – Estação de tratamento de água Benedito Tibúrcio Barbosa localizada na Universidade Federal de Lavras.



Fonte: Do autor (2018).

Figura 2.4 – Esquemático de represamento da água para abastecimento da estação de tratamento de água da Universidade Federal de Lavras.



Fonte: Do autor (2018).

A estação de tratamento de água da UFLA tem capacidade para tratar uma vazão de $9 L.s^{-1}$, mas atualmente o tratamento está sendo aproximadamente $7,8 L.s^{-1}$ (Tabela 2.1). A estação não possui um turbidímetro no local para controle da qualidade da água, tendo que coletar amostras e levá-las para o Departamento de Engenharia da UFLA para realização das análises de medição da

turbidez das amostras, este procedimento ocorre uma vez por semana. Os resultados das análises são repassados aos técnicos da estação, e os mesmos regulam a quantidade ideal de coagulantes a serem inseridos no tratamento da água por meio de uma válvula manual.

Um problema agravante é no período de chuvas, uma vez que a água captada para tratamento tem seu nível de turbidez alterado frequentemente, o que dificulta o tratamento correto da água. Este fator destaca a importância do presente trabalho na implantação do sistema de monitoramento da medição de turbidez em um controle de sistema automático.

Tabela 2.1 – Controle de vazão, turbidez média da água bruta que chega e a que sai da estação após o tratamento no período de janeiro a junho de 2018 da ETA da UFLA.

Mês / 2018	Vazão $L \cdot s^{-1}$	Turbidez Média (NTU)	
		Entrada	Saída
Janeiro	8,3	12,58	1,21
Fevereiro	8,3	11,31	0,69
Março	8,3	8,35	1,51
Abril	8,0	7,14	0,42
Maior	7,8	8,05	0,31
Junho	7,7	6,53	0,22

Fonte: Estação de tratamento de água da UFLA (2018).

De modo geral, as estações de tratamento de água de pequeno porte têm como finalidade abastecer comunidades que não possuem acesso a água tratada por meio das companhias de saneamento básico, principalmente nas comunidades de zonas rurais brasileiras, uma vez que nessas regiões o acesso a água tratada é precário ou até inexistentes (LANDO et al., 2017). Sendo que o índice de domicílios que possuem água tratada nas zonas rurais brasileiras foi de apenas 30,33% no ano de 2014, contra 93,37% nos domicílios em áreas urbanas (BRASIL, 2016).

O abastecimento de água nas casas em zonas rurais, na maioria dos casos, é realizado por águas vindas diretamente de nascentes ou de aquíferos. Perante a este fato, qualquer alteração nos recursos naturais, afeta diretamente a população que faz os usos dessas águas (VIANA & BRAGA, 2015).

Para se avaliar a qualidade da água na área rural do município de Lavras, foi feito um trabalho por Rocha et al. (2006), verificando que apenas 7% das amostras estavam apropriadas para o consumo humano. E nas propriedades rurais localizadas na região sudoeste do Paraná, Campos et al. (2008) verificaram que apenas 12% estavam apropriadas para o consumo humano.

Diante dos fatos, é importante a implantação de pequenas estações de tratamento de água nas comunidades que não possuem acesso a água tratada, para que possam fazer uso de águas em boa qualidade.

2.5 Medidores de Turbidez

Segundo Libânio (2010), conhecer o grau de turbidez da água é fundamental para auxiliar no processo de tratamento da água. Sua medição é baseada na redução da intensidade luminosa devido à presença de impurezas em suspensão presentes na água, podendo ser sólidos suspensos e organismos microscópios (MARTINS, 2012). Os medidores tradicionais baseiam-se em um sensor que converte a intensidade luminosa que atravessa a amostra em um sinal elétrico (HART et al., 1992).

Os medidores tradicionais possuem um custo elevado para sua aquisição, levando muitas estações de pequeno porte não o adquirirem para o monitoramento da qualidade da água tratada. Para sistemas de controle automático para medição de turbidez, existem os medidores de processos, disponíveis atualmente no mercado na faixa de R\$ 28.890,00. (Anexo B). Por outro lado, medidores portáteis e de bancada possuem preços mais acessíveis, na faixa de R\$ 2.000,00, mas estes necessitam de mão de obra para coletar e monitorar a qualidade da água. Segundo Viana e Braga (2015), o custo operacional para controle da qualidade da água em uma estação de tratamento de água, mesmo que de pequeno porte, por inviabilizar a sua implantação, pois de um lado existe o alto custo dos equipamentos automáticos, e do outro o custo de mão de obra.

Diante dos fatos apresentados, inovações tecnológicas relacionadas para estações de tratamento de água de pequeno porte estão sendo desenvolvidas para que localizadas mais afastadas dos centros urbanos também possam utilizar águas em boas qualidades.

Em um trabalho realizado por Román-Herrera et al. (2016), foi desenvolvido um medidor de turbidez de baixo custo para contribuir com a qualidade de vida de populações rurais. O dispositivo consiste em um LED que emite um feixe de luz no líquido a ser medido e um sensor recebe a luz que passa no líquido, e esse valor é quantificado em uma escala de turbidez com o auxílio de um turbidímetro comercial, porém este dispositivo desenvolvido apresentou bons resultados em uma faixa de 50 a 650 unidades de turbidez nefelométrica (NTU), muito acima do padrão apropriado para consumo humano de 1 NTU.

Procurando desenvolver um medidor que realizasse a mesma função, porém de maneira alternativa, Jamale e Pardeshi (2014) sugerem um medidor baseado em um software controlado por um microcomputador, que realiza a captura e o processamento de imagens capturadas por uma câmera. As características da imagem capturada são comparadas com um banco de dados de imagens conhecidas, retornando o valor de turbidez da amostra. Logo, a técnica se torna ineficiente para tratamento de água com teores de impurezas desconhecidas.

No entanto, um trabalho realizado por Viana e Braga (2015), mostra que se pode analisar a amostra utilizando uma webcam e um microcomputador sem a necessidade de um banco de dados. Nesta técnica, um emissor é apontado para a amostra de líquido a ser avaliada, e a quantidade de luz que atravessa é registrada pela câmera e processada em computador em nível de escala de cinza, sendo convertidas em valores de turbidez.

2.6 Eletrônica Digital Embarcada

O Arduino teve seu início no Interaction Design Institute em 2005 na cidade de Ivrea – Itália (EVANS et al., 2013). O Arduino possui o conceito de *hardware* livre, composto por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e que pode ser facilmente conectado à um computador e programado via IDE (Integrated Development Environment) utilizando linguagem C++. Depois de programado, o microcontrolador pode ser usado de forma independente, podendo colocá-lo para controlar um robô, a temperatura do ar condicionado, aparelhos de medições, controle de atuadores e entre muitos outros diferentes tipos de projetos de controle.

Para projeto de automação residencial, um trabalho realizado por Portes (2014), utilizando placa Arduino, apresenta, com pouco investimento, que é possível automatizar uma residência de forma adaptada para acessibilidade à pessoa portadora de deficiência, sendo essa automação controlada por um *hardware* composto de conexões serial, USB, rede Ethernet e bluetooth.

Para sistemas de irrigação, Rocha (2013) apresenta um sistema automatizado utilizando tecnologias de eletrônica digital de baixo custo para controle e monitoramento de irrigações no Vale do Açu (Microrregião do estão de Rio Grande do Norte), mostrando que é possível expor uma alternativa para o controle do sistema de irrigação, eliminando a necessidade do agricultor ligar/desligar a bomba d'água manualmente e também o gasto excessivo de água, mantendo a umidade do solo adequada às suas necessidades.

Em um outro trabalho, realizado por Pin et al. (2012), também sobre projeto de controle, construiu-se uma plataforma com Servo motores e sensoriamento utilizando a placa Arduino e controle externo, demonstrando que o custo total do projeto é muito inferior ao custo de uma aquisição de um kit LEGO Mindstorns, sendo comercializado em uma faixa de R\$ 2.000,00. Mostrando assim, uma forma alternativa mais viável economicamente de adotar-se em robótica educacional no ambiente acadêmico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a realização do projeto foram utilizados os seguintes materiais:

- Software Arduino (IDE) versão Windows

Um código aberto para criar, gravar e enviar códigos para a placa Arduino. É um software totalmente gratuito, e pode ser executado no Windows, Linux e Mac OS. Neste trabalho foi utilizado a versão Windows.

- Câmera VGA OV7670

Este módulo permite a captura e armazenamento de imagens em tons de cinza e RBG pelo Arduino, com uma taxa de atualização de até 30 frames por segundo, com resolução máxima de 640 x 480 pixels, sendo que neste trabalho foi utilizado uma resolução de 320 x 240 Pixels. O próprio fabricante fornece, junto ao produto, um algoritmo padrão com todas as funções que a câmera pode realizar. Este módulo possui 18 pinos, as descrições de cada pino estão descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 –Descrição dos pinos do módulo ov7670.

Pino	Tipo	Descrição
VDD	Energia	Alimentação 3,3V
GND	Energia	GND
SDIOC	Entrada	Clock SCCB
SDIOD	Entrada/Saída	Dados SCCB
VSYNC	Saída	Sincronização vertical
HREF	Saída	Sincronização horizontal
PCLK	Saída	Clock de pixel
XCLK	Entrada	Clock do sistema
D0-D7	Saída	Saída paralela de vídeo
RESET	Entrada	Reset (Ativo nível baixo)
PWDN	Entrada	Desligar (Ativo nível alto)

Legenda: SCCB – Interface de comunicação entre Arduino e o sensor.

Fonte: Do autor (2018).

- Placa Arduino Uno R3

Possui um microcontrolador baseado no ATmega328 e 14 pinos de entrada/saída digital, dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM, 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, uma

conexão USB, uma entrada de alimentação de conexão ICSP e um botão reset. Sua tensão de operação é 5V, mas fornece saída de tensão de 3V e 5V. Memória Flash é de 32KB e memória SRAM de 2 KB.

- Turbidímetro de bancada da marca Tecnopon modelo TB-1000

Utilizado para comparar o grau de turbidez da água com a intensidade luminosa medida pelo equipamento implementado neste. Este turbidímetro de bancada utiliza soluções prontas para facilitar a sua calibração. Sempre que desliga o aparelho e se inicia uma nova medição, é necessário a calibração do mesmo. O medidor possui boa precisão e fácil de se utilizar, porém medidores como estes tem um valor elevado para aquisição, na faixa de R\$2.000,00.

- Material de acrílico

Para confecção do reservatório em que foi realizado a leitura do líquido, com dimensão 10x20x10cm (Largura x altura x profundidade, respectivamente).

- Material MDF

Montagem do suporte em formato de caixa para acoplar os elementos eletrônicos em um ambiente isento de iluminação externa, com dimensão 40x30x15cm (Largura x altura x profundidade, respectivamente).

- Dois sensores de nível

Sensores de nível LC26M-40 da marca Icos para indicação de nível do líquido no reservatório. Este modelo de sensor nível, dependendo da maneira que é colocado no reservatório, pode funcionar normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF) pelo do movimento do flutuador magnético abrindo ou fechando um contato elétrico.

- Modulo emissor laser

Modelo IRL104A2B da Seed Studios, e uma fonte FL da LASERLine para alimentar o módulo emissor laser.

- Duas válvulas solenoides 24V

Válvulas pneumáticas da marca Werk-Shott modelo 51241122C, com conexões para mangueiras de 6mm.

- Anteparo de madeira para projeção da luz emitida;

- Um módulo relê com dois canais;
- Fonte de alimentação bivolt 24V / 4,8A;
- Cabos de conexão para os elementos eletrônicos;
- Mangueiras de 6mm para a circulação da água.

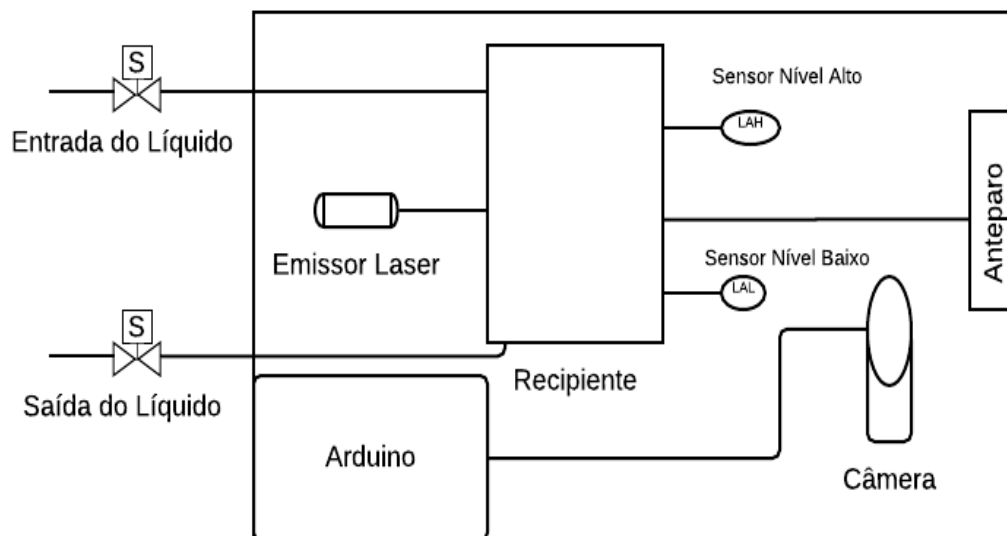
3.2 Microcontrolador placa Arduino em substituição dos microcomputadores

Para avaliar a capacidade da placa Arduino Uno R3 em substituição dos microcomputadores, foram realizadas as seguintes etapas:

✓ Montagem do Dispositivo

Todos os elementos eletrônicos (exceto as válvulas) estão acoplados em um suporte feito por material de madeira MDF (em formato de caixa), como está ilustrado na Figura 3.1. A água passa pelo recipiente, e o laser emite um feixe de luz, em que a intensidade luminosa que atinge o anteparo é registrada pela câmera. O Arduino foi alimentado por uma saída serial de um notebook, o emissor laser pela fonte FL da LASERLine, as válvulas solenoides pela fonte 24V e comandadas pelos relés, e a câmera foi alimentada pelo próprio Arduino.

Figura 3.1 – Diagrama esquemático do equipamento implementado em uma câmara escura 40x25x15cm (comprimento x altura x profundidade).

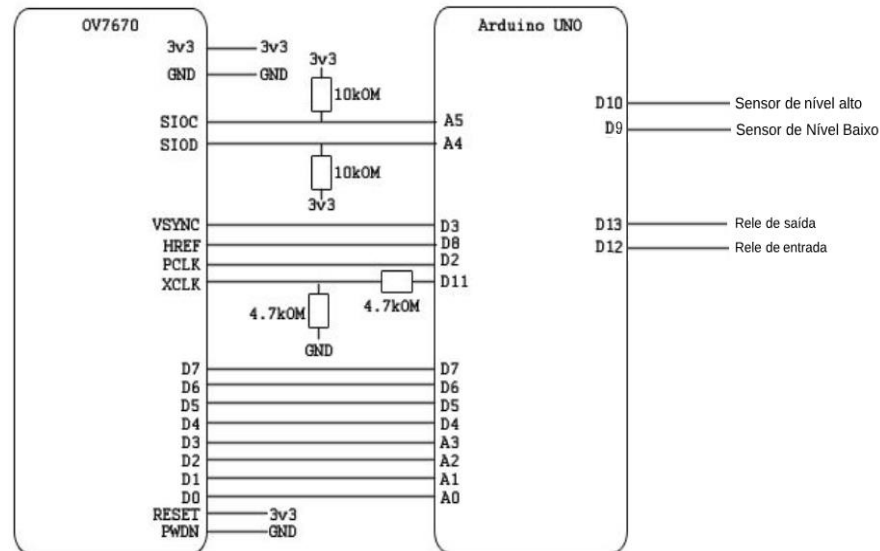


Fonte: Do autor (2018).

✓ Ligações Eletrônicas

As ligações realizadas para a conexão entre o Arduino com o módulo ov7670, sensores de nível e com os reles estão apresentadas na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Ligações realizadas entre os componentes eletrônicos.



Fonte: Do autor (2018).

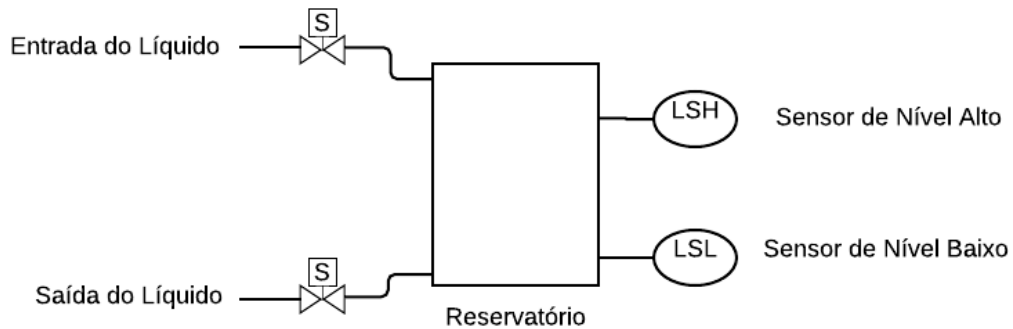
▪ Programação do Arduino

O algoritmo implementado foi responsável por controlar a entrada e saída da água no reservatório, realizar a leitura da média de tonalidades dos pixels da imagem e converter o valor para uma escala de turbidez.

✓ Controle de entrada e saída da água

O controle de entrada e saída da água no reservatório, realizado por meio de duas válvulas solenoides, está apresentado na Figura 3.3. Quando o sensor de nível baixo estiver fechado (nível lógico 1), o reservatório está vazio, e, portanto, o software implementado envia um sinal fechando a válvula de saída e um sinal abrindo a válvula de entrada. Quando o sensor de nível alto estiver fechado o reservatório está cheio, e então a entrada de água é interrompida fechando-se a válvula de entrada. Nesse momento, o reservatório está pronto para que a leitura da imagem seja realizada. Após a realização da leitura e processamentos dos dados, um sinal é enviado abrindo a válvula de saída, iniciando novamente o ciclo de controle da entrada e saída de água, que tem duração total de 1 minuto.

Figura 3.3 – Controle de entrada e saída do líquido no reservatório.



Fonte: Do autor (2018).

✓ Câmera VGA OV7670

Este módulo VGA possui alta sensibilidade em ambientes com pouca luz e controle automático de funções e qualidade de imagem, como saturação, matriz gama, nitidez e anti-blooming. Porém, neste trabalho estes ajustes automáticos não são desejáveis para que a câmera possa fornecer os dados verdadeiros de captura, portanto estes ajustes foram desabilitados.

As modificações nos ajustes automáticos foram realizadas escrevendo 0x00 aos registradores de cada função que foram desabilitadas, seguindo o datasheet do módulo ov7670. Os registradores modificados estão apresentados no algoritmo implementado anexado (Anexo A).

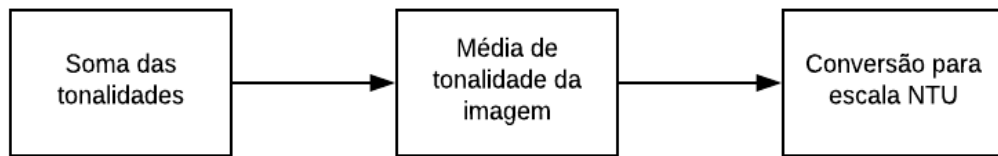
A câmera utilizada fornece também a tonalidade de cada pixel em escala de cinza, uma vez que a imagem é montada de pixel a pixel. Este é o ponto mais importante por utilizar a VGA ov7670, porque o microcontrolador ATmega 328 não possui uma memória RAM suficiente para conseguir carregar uma imagem e processá-la. Portanto, neste trabalho, não foi capturada uma imagem para posteriormente processá-la, foi capturado apenas o valor de tonalidade de cada pixel da imagem de resolução 320 x 240 pixels, totalizando o armazenamento de 76.800 pixels por imagem.

✓ Leitura dos pixels e conversão para uma escala de turbidez

Este procedimento é realizado seguindo o esquemático mostrado na Figura 3.4. No primeiro passo, realizada a soma de todos os pixels da imagem de resolução 320x240, tendo um total de 76800 pixels. Cada pixel possui uma tonalidade em escala de cinza, variando entre 0 (preto) e 255 (branco). Portanto, a média da intensidade luminosa de uma imagem é a soma total da tonalidade de todos os pixels dividindo-se pelo número total de pixels (76800), como mostra a Equação 1.

$$\text{Tonalidade Média} = \frac{\text{Soma de tonalidades}}{\text{Número de pixels}} \quad (1)$$

Figura 3.4 - Processo para obter a média da tonalidade da imagem em escala de cinza (0 a 255) e conversão para escala NTU.



Fonte: Do autor (2018).

A média da tonalidade de todos os pixels é convertida em turbidez em uma escala NTU. Essa conversão depende da localização da estação. Pois, como é apresentado no trabalho de Franco (2009), solos de regiões distintas podem apresentar características que ocasionam comportamentos diferentes quando dissolvidos em água, causando um comportamento diferenciado na intensidade de luz que atravessa uma amostra em análise. Portanto, essa conversão deve ser feita calibrando o equipamento na localidade específica da estação.

3.3 Calibração e validação do equipamento construído

Para analisar o medidor implementado, primeiramente foram realizadas calibrações e, posteriormente, testes de validação para analisar sua eficiência. No processo de calibração, foram realizados três experimentos: dois em laboratório e um na estação de tratamento de água da UFLA. Para os testes de validação, quatro experimentos: dois em laboratório, um experimento com amostras de águas coletadas da represa de abastecimento da estação, e o quarto experimento realizado em tempo real na própria estação de tratamento de água.

Após realizar a leitura da média de tonalidade dos pixels, o grau de turbidez das amostras foi medido com o uso do turbidímetro auxiliar (turbidímetro de bancada modelo TB-1000), permitindo assim criar uma escala de conversão de tonalidade de pixel para escala de turbidez. Em todos os experimentos, a curva de tendência foi encontrada utilizando a opção “Adicionar linha de tendência” do software Excel versão 2016, a equação pela opção “Exibir Equação no gráfico” e o coeficiente de determinação pela opção “Exibir R-quadrado no gráfico”.

Nos testes de validação, o turbidímetro auxiliar foi utilizado para avaliar a eficiência do equipamento implementado por meio do erro quadrático médio entre os valores obtidos através dos equipamentos (turbidímetro auxiliar e medidor implementado).

✓ Experimentos realizados em laboratório

O primeiro experimento de calibração em laboratório, foi realizado com amostras de água contendo argila dissolvida em água mineral. Quanto maior a quantidade de argila, mais turvo o líquido em análise. Portanto, foram preparados sete tratamentos com diferentes quantidades de argila dissolvidas em 900ml de água mineral, como apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Tratamentos contendo diferentes concentrações de argila dissolvida em 900mL de água mineral para calibração do medidor implementado.

Tratamento	Massa de argila
T1	0 mg
T2	250 mg
T3	500 mg
T4	1300 mg
T5	4500 mg
T6	6000 mg
T7	8500 mg

Fonte: Do autor (2018).

Para realizar o teste de validação com amostras de água contendo argila, foi preparado soluções com novas concentrações de argila dissolvida em água mineral (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Tratamentos contendo diferentes concentrações de argila dissolvida em 900ml de água mineral para teste validação.

Tratamento	Massa de argila
T1	0 mg
T2	300 mg
T3	450 mg
T4	900 mg
T5	2500 mg
T6	4000 mg
T7	6500 mg

Fonte: Do autor (2018).

O segundo experimento de calibração, foi realizado com soluções de água contendo café solúvel em grânulo dissolvido em água mineral, preparando sete tratamentos com diferentes concentrações de café solúvel (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Tratamentos contendo diferentes concentrações de café solúvel dissolvidos em 900mL de água mineral para calibração do medidor.

Tratamento	Massa de café solúvel
T1	0 mg
T2	250 mg
T3	750 mg
T4	1000 mg
T5	1250 mg
T6	2000 mg
T7	3250 mg

Fonte: Do autor (2018).

O teste de validação com soluções de água contendo café solúvel em grânulos, também foi realizado com novas concentrações de café solúvel dissolvido em água mineral (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Tratamentos contendo diferentes concentrações de café solúvel em grânulos dissolvidos em 900mL de água mineral para teste validação.

Tratamento	Massa de café solúvel
T1	0 mg
T2	300 mg
T3	600 mg
T4	800 mg
T5	1100 mg
T6	1600 mg
T7	2200 mg

Fonte: Do autor (2018).

Para analisar dispersão entre os dados obtidos e para uma maior confiabilidade nos resultados, foi realizado 5 medições para cada tratamento, obtendo um total de 35 amostras de medição para cada experimento, como mostra a Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Esquema experimental para a medição das intensidades luminosas (tonalidades de cinza entre 0 e 255) e turbidez medida pelo aparelho de bancada para as 35 amostras de calibração para experimento (Argila ou café solúvel).

Tratamento	Intensidade Luminosa					Turbidez (NTU)				
	Repetições					Repetições				
	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
T1	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
T2	A6	A7	A8	A9	A10	A6	A7	A8	A9	A10
T3	A11	A12	A13	A14	A15	A11	A12	A13	A14	A15
T4	A16	A17	A18	A19	A20	A16	A17	A18	A19	A20
T5	A21	A22	A23	A24	A25	A21	A22	A23	A24	A25
T6	A26	A27	A28	A29	A30	A26	A27	A28	A29	A30
T7	A31	A32	A33	A34	A35	A31	A32	A33	A34	A35

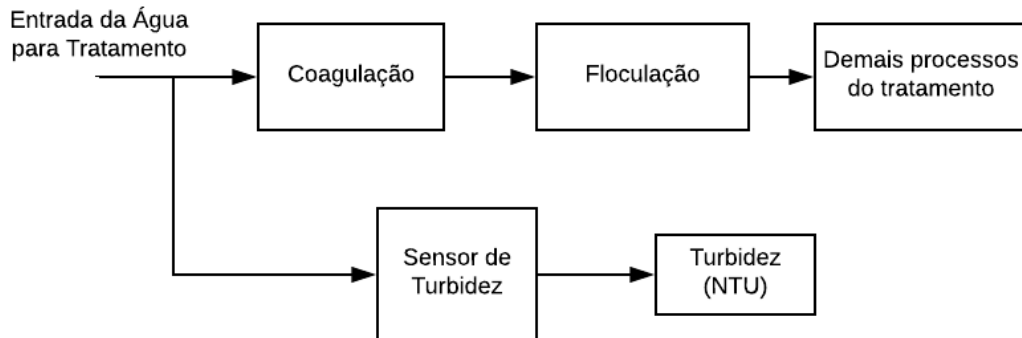
Legenda: T – Tratamento; R – Repetição; A – Amostra.

Fonte: Do autor (2018).

✓ **Experimentos realizados na estação de tratamento de água da UFLA.**

O teste do sistema para a medição de turbidez da água foi realizado em tempo real de execução na estação de tratamento de água Benedito Tibúrcio Barbosa, localizada no campus da UFLA. O equipamento foi implantado para coletar amostras de água bruta, ou seja, água que chega à estação. Um esquema do sistema implantado na ETA está apresentado na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Diagrama de blocos do sistema implantado na ETA da UFLA.



Fonte: Do autor (2018).

Nos experimentos realizados em laboratório, foram usadas 35 amostras de água para calibrar o equipamento construído. Mas, ser necessário 35 amostras para calibração não é viável, pois os equipamentos mais modernos estão cada vez mais simples de serem utilizados. Portanto, com o intuito de deixar o equipamento mais prático, a calibração do equipamento na estação foi feita apenas com cinco amostras diferentes, realizando apenas uma repetição por amostra. O efeito dessa redução de amostras é discutido na seção de resultados, e comparado com os resultados obtidos nos testes de validação em laboratório com maior número de amostras.

A primeira das cinco amostras para calibrar o equipamento foi de água mineral, a segunda foi coletada na entrada da adutora de água bruta da estação. Como a turbidez da água bruta que chega à estação tem pouca variação em um pequeno período de tempo (Tabela 2.1), três amostras de água para calibrar o equipamento foram coletadas na represa de abastecimento da estação, promoveu-se o revolvimento dos sedimentos do fundo da represa, com a finalidade de se aumentar a turbidez da água, simulando a ação de enxurradas em períodos chuvosos.

A validação do equipamento na estação de tratamento de água foi realizada em dois testes. Como a turbidez da água bruta que chega a estação é quase estável, foram coletadas novas amostras da represa abastecimento da estação, seguindo o mesmo procedimento na etapa de calibração: uma amostra de água mineral, uma amostra de água na adutora, e, desta vez, mais cinco amostras de água no processo de revolvimento dos sedimentos (Figura 3.6). As amostras de água foram medidas pelo equipamento construído e pelo turbidímetro auxiliar.

Figura 3.6 – Amostras de água para o primeiro teste de validação do equipamento construído.



Legenda: Da esquerda para a direita: água mineral, a segunda é a que entra na adutora, e as de alimentação da ETA.

Fonte: Do autor (2018).

Com o intuito de analisar o comportamento do equipamento em diferentes semanas o segundo teste de validação realizado na ETA foi feito em um período de quatro semanas, sendo realizado um teste por semana durante o mês de junho de 2018. Sendo realizado cinco medições de turbidez por semana.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

✓ Experimentos com argila

Os resultados encontrados para o experimento de calibração contendo argila dispersa em água mineral são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Intensidade luminosa medida pelo equipamento construído e turbidez medida pelo turbidímetro auxiliar para as 35 amostras de água para o experimento de calibração com argila.

Tratamento	Intensidade luminosa					cv (%)	Turbidez (NTU)					cv (%)
	Repetições						Repetições					
	R1	R2	R3	R4	R5		R1	R2	R3	R4	R5	
T1	116,71	118,48	117,67	118,22	117,39	0,60	0,37	0,36	0,36	0,36	0,37	1,52
T2	115,28	115,36	114,55	114,86	115,76	0,41	3,8	3,7	3,7	3,4	3,4	5,05
T3	111,45	111,05	111,23	111,28	111,18	0,15	8,7	8,4	8,5	7,3	7,1	8,82
T4	98,86	99,67	99,58	99,86	99,16	0,41	24	25	23	21	22	6,88
T5	75,57	75,73	74,56	73,60	74,79	1,14	109	104	102	100	100	3,67
T6	67,68	67,44	68,07	67,98	67,75	0,37	190	188	177	190	193	3,25
T7	31,89	30,90	32,57	32,87	32,40	2,38	563	546	568	556	550	1,62

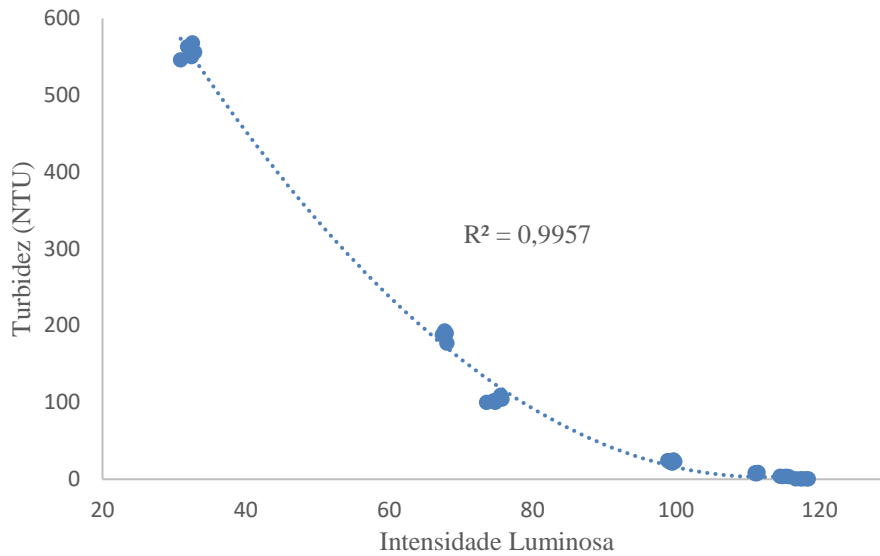
Legenda: T – Tratamento; R – Repetição; cv – Coeficiente de variação.

Fonte: Do autor (2018).

Analisando os resultados dos coeficientes de variação da Tabela 4.1, observa-se que houve pouca dispersão no conjunto de dados. Para os tratamentos com menor grau de turbidez (T1, T2, T3 e T4), os coeficientes de variação do turbidímetro auxiliar foram mais instáveis. Por outro lado, os coeficientes de variação da intensidade luminosa medida pelo equipamento construído se mantiveram muito mais estável entre os diferentes tratamentos analisados.

A melhor curva de calibração que se aproximou do conjunto de dados foi uma polinomial de ordem 2 (Equação 2), com coeficiente de determinação não-linear de 99,57 % (Figura 4.1). Porém, mesmo a Equação 2 apresentando bom coeficiente de determinação, quando se substitui valores de intensidade luminosa próxima de 111, a Equação 2 não se aproxima muito bem do valor esperado. Como exemplo, valor de intensidade luminosa 111, pela Tabela 4.1, deveria ter como resultado valor próximo de 8NTU, mas pela Equação 2, tem como resultado 2,64NTU.

Figura 4.1 – Curva de calibração para o experimento com argila dissolvida em água mineral.



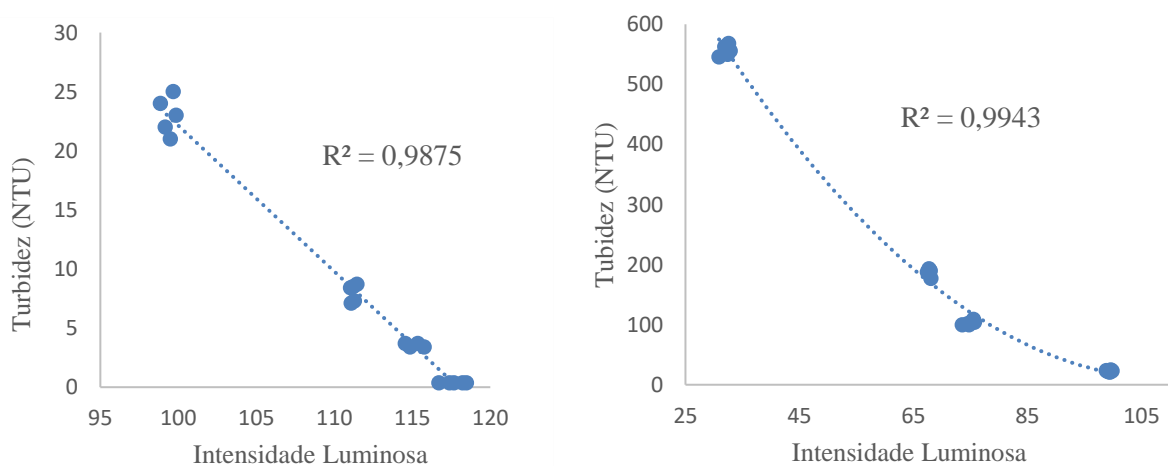
Fonte: Do autor (2018).

$$Turbidez = 0,0865 \times I^2 - 19,402 \times I + 1090,5 \quad (2)$$

Em que, I é a intensidade luminosa da média de tonalidade dos pixels calculada através da Equação 1.

Portanto, para uma melhor calibração do equipamento, sua calibração foi realizada em dois estágios. O primeiro para valores de intensidades luminosas maiores ou iguais a 95, e o segundo estágio para intensidades luminosas menores do que 95. Esse intervalo foi encontrado substituindo valores de intensidade luminosa na Equação 2, comparando-se com os resultados de turbidez esperados, apresentados na Tabela 4.1. Logo, se $I \geq 95$ se utiliza a Equação 3 e se $I < 95$ se utiliza a Equação 4, com coeficientes de determinação 98,75% e 99,43%, respectivamente (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Curvas de calibração para o experimento com argila dispersa em água mineral.



Fonte: Do autor (2018).

$$Turbidez = -1,234 \times I + 145,52 \quad (3)$$

$$Turbidez = 0,0904 \times I^2 - 19,875 \times I + 1102,6 \quad (4)$$

O teste de validação com argila foi realizado utilizando as Equações 3 e 4, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.2. Observa-se que para pequenos valores de turbidez (T1 e T2), o erro quadrático médio foi relativamente alto (56,55 e 19,91%, respectivamente). Mas de modo geral, analisando a Figura 4.3, o equipamento obteve bons resultados, com $R^2 = 99,80\%$.

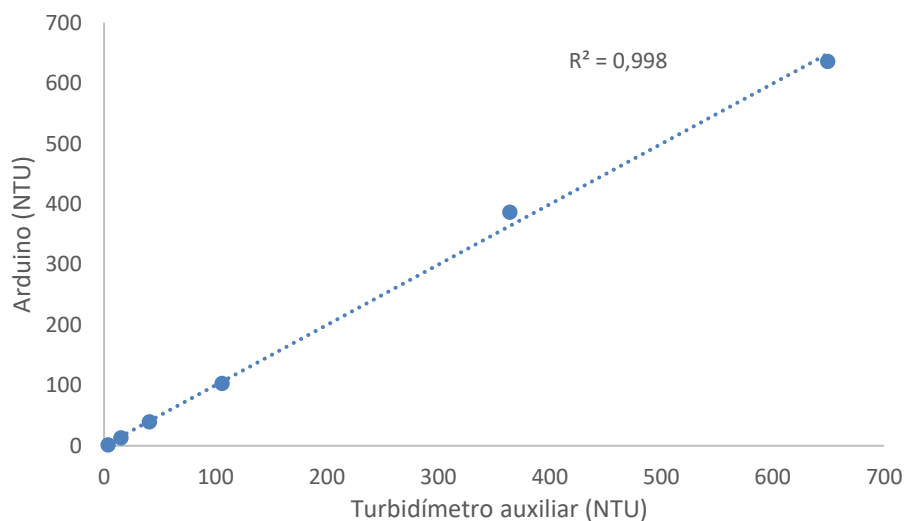
Tabela 4.2 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação com a turbidímetro tradicional no teste de validação de amostras de água contendo argila dispersa em água mineral. Erro quadrático médio entre os tratamentos analisados de 15,70%.

Tratamento	Turbidez – Técnica Proposta		Turbidez – Turbidímetro		RMSE (%)
	μ (NTU)	σ	μ	σ	
T1	0,52	0,11	0,35	0,03	56,55
T2	3,54	0,36	4,30	0,26	19,92
T3	15,11	0,28	15,94	0,51	6,23
T4	40,55	0,86	41,86	2,48	6,52
T5	105,93	0,94	103,40	1,02	2,81
T6	364,92	1,08	374,23	3,65	11,68
T7	649,36	8,31	623,41	26,03	6,22

Legenda: μ - Média; σ - Desvio padrão; RMSE – Erro quadrático médio.

Fonte: Do autor (2018).

Figura 4.3 – Validação do equipamento construído para o experimento com argila dispersa em água mineral. Com $R^2 = 99,80\%$.



Fonte: Do autor (2018).

✓ **Experimentos com café solúvel**

Os resultados do experimento de calibração com amostras de água contendo café solúvel dissolvido em água mineral são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Intensidade luminosa medida pelo equipamento construído e turbidez medida pelo turbidímetro auxiliar para as 35 amostras de água para o experimento de calibração com café solúvel.

Trata- mento	Intensidade Luminosa					cv (%)	Turbidez (NTU)					cv (%)
	Repetições						Repetições					
	R1	R2	R3	R4	R5		R1	R2	R3	R4	R5	
T1	117,32	118,18	117,87	117,22	116,39	0,58	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	2,20
T2	102,35	101,70	103,56	102,89	103,81	0,84	3,2	3,2	3,2	3,1	3,2	1,39
T3	83,29	84,42	84,35	83,32	83,42	0,68	8	8	8	8	8	0
T4	49,04	51,25	51,97	50,89	50,79	2,54	25	25	25	25	25	0
T5	21,53	21,32	22,57	21,72	22,41	1,35	47	45	45	46	45	1,99
T6	14,22	14,45	14,63	14,44	14,73	1,35	103	99	96	100	96	2,98
T7	11,60	11,93	11,92	11,80	11,81	1,12	415	382	390	402	397	3,14

Legenda: T – Tratamento; R – Repetição; cv – Coeficiente de variação.

Fonte: Do autor (2018).

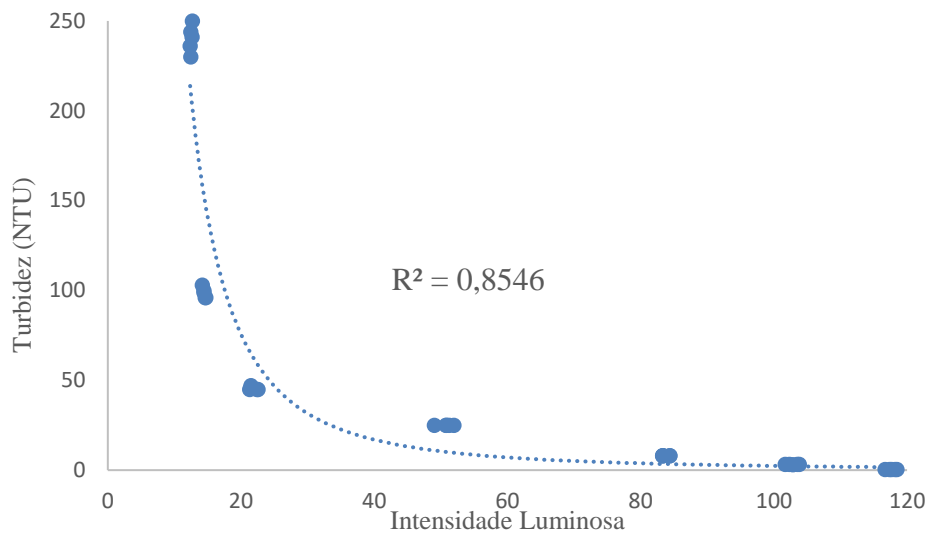
Analisando os resultados dos coeficientes de variação da Tabela 4.3, observa-se que houve pouca dispersão no conjunto de dados, e que o equipamento construído apresentou ser mais estável que o turbidímetro auxiliar.

A curva que melhor se aproximou do conjunto de dados para a calibração do equipamento foi uma exponencial (Equação 5), com o coeficiente de determinação $R^2 = 85,46\%$, como está apresentado na Figura 4.4. Porém, também foi necessário realizar a calibração em dois estágios, pois substituindo o valor de intensidade de 83 na Equação 5 encontra-se o valor de turbidez de 3,48NTU, distante do valor esperado, uma vez que pela Tabela 4.2, intensidades próximas de 83, o valor de turbidez teria que ser próximo de 8NTU.

$$Turbidez = 48596 \times I^{-2,158} \quad (5)$$

Em que, I é a intensidade luminosa da média de tonalidade dos pixels.

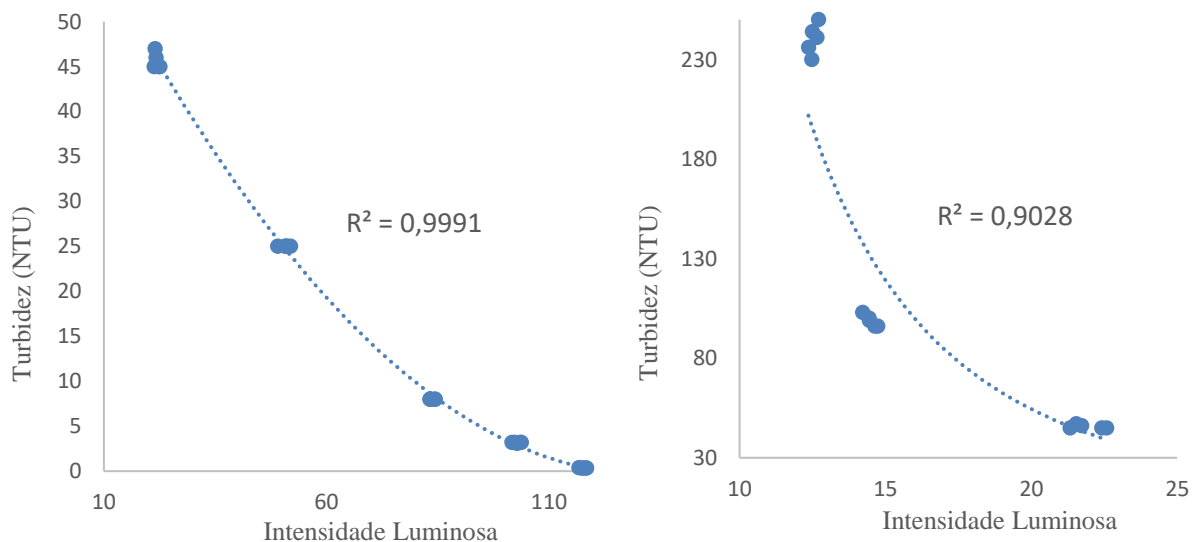
Figura 4.4 – Curva de calibração para o experimento com café solúvel dissolvido em água mineral.



Fonte: Do autor (2018).

A curva de calibração da Figura 4.4 também foi dividida em dois estágios, fazendo o mesmo procedimento para separar a curva de calibração do experimento com argila. O intervalo de separação encontrado foi para intensidade luminosa igual 20. Logo, se $I \geq 20$ utiliza-se Equação 6 e se $I < 20$ utiliza-se Equação 6, com coeficientes de determinação 99,91% e 90,28%, respectivamente (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Curvas de calibração para o experimento com café solúvel em água mineral.



Fonte: Do autor

$$Turbidez = 0,0038 \times I^2 - 1,0042 \times I + 65,863 \quad (6)$$

$$Turbidez = 189856 \times I^{-2,723} \quad (7)$$

O teste de validação para o experimento com café solúvel em grânulos foi realizado utilizando as Equações 6 e 7, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.4. Analisando a Figura 4.6, nota-se que o equipamento construído obteve resultados muito bons comparados com o turbidímetro auxiliar, com coeficiente de determinação de 99,98%.

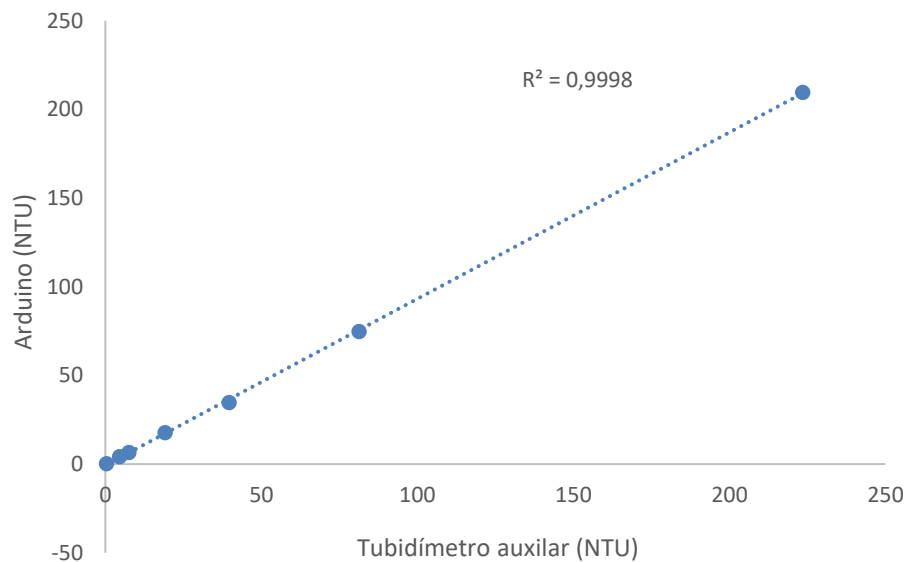
Tabela 4.4 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação com a turbidímetro tradicional no teste de validação de amostras de água contendo argila dispersa em água mineral. Erro quadrático médio de 15,48%.

Tratamento	Turbidez – Técnica Proposta		Turbidez – Turbidímetro		RMSE (%)
	μ (NTU)	σ	μ	σ	
T1	0,34	0,07	0,27	0,03	44,80
T2	4,64	0,23	4,34	0,10	9,10
T3	7,58	0,20	6,68	0,25	14,66
T4	19,16	0,60	17,86	0,73	9,20
T5	39,65	0,47	34,81	0,74	14,26
T6	81,37	0,25	74,83	2,31	9,50
T7	223,56	0,44	209,66	2,65	6,82

Legenda: μ - Média; σ – Desvio padrão; RMSE – Erro quadrático médio.

Fonte: Do autor (2018).

Figura 4.6 – Validação do equipamento construído para o experimento com café solúvel dissolvido em água mineral. Com $R^2 = 99,98\%$.



Fonte: Do autor (2018).

✓ **Experimentos na estação de tratamento de água da UFLA**

Os resultados da calibração do equipamento na estação de tratamento de água são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Intensidade luminosa medida pelo equipamento construído e turbidez medida pelo turbidímetro auxiliar para as cinco amostras de água para a calibração do equipamento na estação de tratamento de água da UFLA.

Amostras	Intensidade Luminosa	Turbidez
A1	128,33	0,77
A2	124,11	5,8
A3	102,76	23
A4	87,94	70
A5	68,47	180

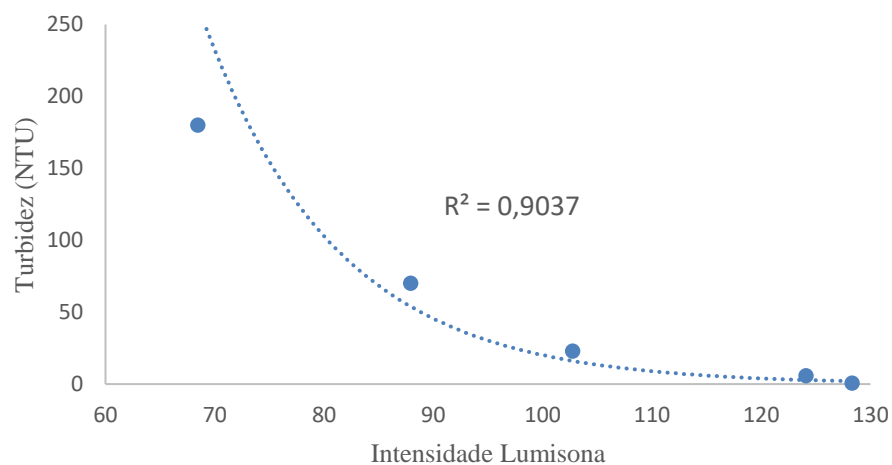
Fonte: Do autor (2018).

A curva que melhor se aproximou do conjunto de dados para a calibração do equipamento foi uma exponencial (Equação 8), com o coeficiente de determinação $R^2 = 90,37\%$ (Figura 4.7).

$$Turbidez = 69643 \times e^{-0,081 \times I} \quad (8)$$

Em que, I é a intensidade luminosa da média de tonalidade dos pixels.

Figura 4.7 – Curva de calibração para o experimento realizado na estação de tratamento de água da UFLA.



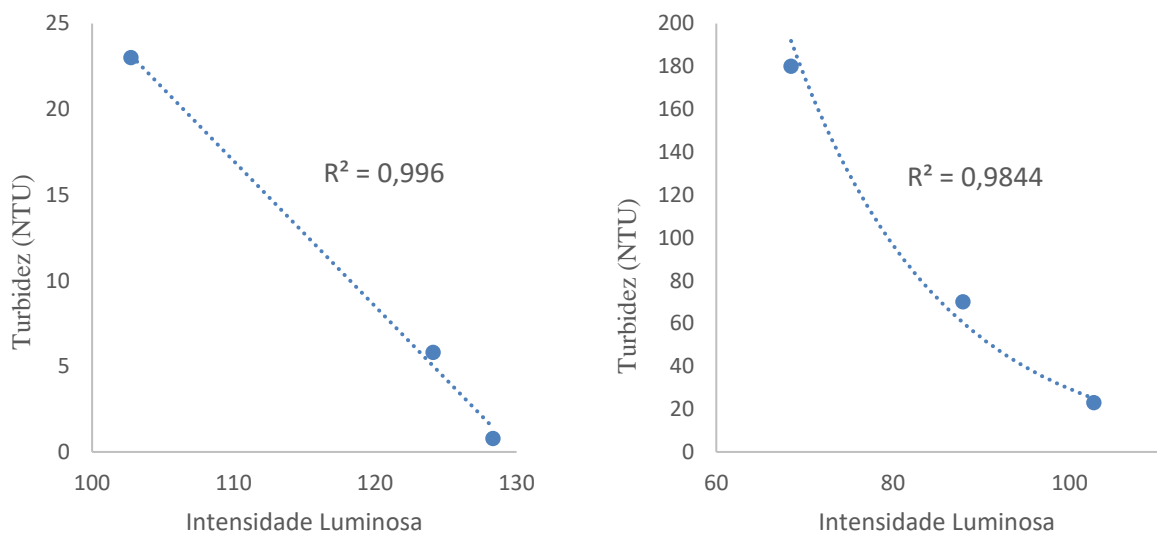
Fonte: Do autor (2018).

Substituindo o valor de intensidade luminosa igual a 124 na Equação 8, encontra-se o valor de turbidez 3,02NTU, uma vez que pela Tabela 4.5, o resultado esperado fosse valores próximos de 5,8NTU. Logo, para uma melhor curva de calibração do equipamento, novamente foi feita em dois estágios. O intervalo de separação encontrado para a curva de calibração, por meio dos mesmos procedimentos realizados na calibração dos experimentos anteriores, foi em intensidade luminosa igual a 96. Portanto, se $I \geq 96$ utiliza-se Equação 9 e se $I < 96$ utiliza-se Equação 10, com coeficientes de determinação 99,60% e 98,44% respectivamente (Figura 4.8).

$$Turbidez = -0,8487 \times I + 110,34 \quad (9)$$

$$Turbidez = 11217 \times e^{-0,059 \times I} \quad (10)$$

Figura 4.8 – Curvas de calibração para o experimento realizado na estação de tratamento de água da UFLA.



Fonte: Do autor (2018).

Os resultados do primeiro teste de validação na estação de tratamento de água, com amostras de água coletadas da represa de abastecimento, são apresentados da Tabela 4.6.

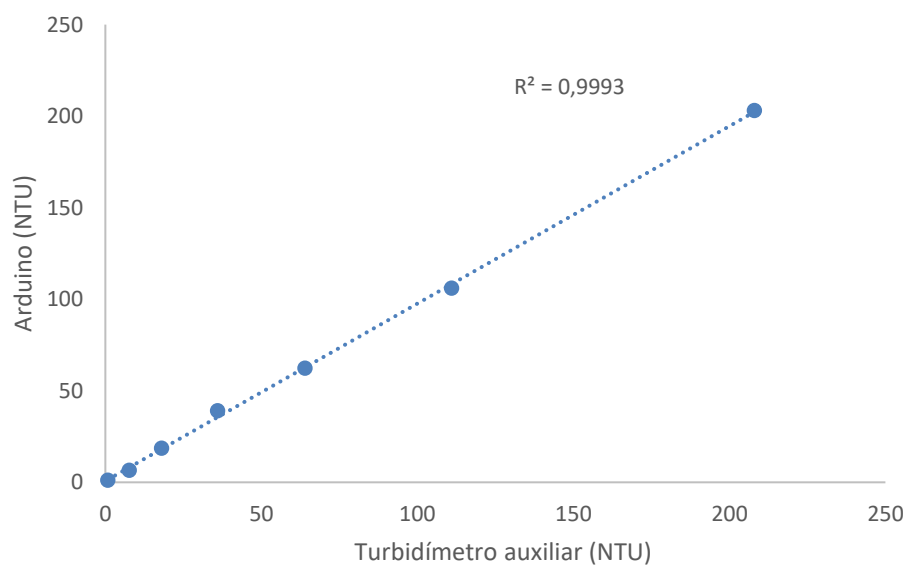
Tabela 4.6 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação com o turbidímetro auxiliar no teste de validação de amostras de água coletadas da represa de abastecimento da ETA. Erro quadrático médio de 11,83%.

Amostras	Turbidez (NTU)		RMSE(%)
	Arduino	Turbidímetro	
A1	1,12	0,77	45,45
A2	6,45	7,7	16,23
A3	18,57	18	3,17
A4	39,11	36	8,64
A5	62,38	64	2,53
A6	106,08	111	4,43
A7	203,00	208	2,40

Fonte: Do autor (2018).

Analisando a Figura 4.9, observa-se que mesmo utilizando uma quantidade menor de amostras para calibração, se comparado ao número de amostras de água para os experimentos com argila e café solúvel, o equipamento construído apresentou bons resultados em comparação ao turbidímetro auxiliar. ($R^2 = 99,93\%$). Logo, é válido a utilização de uma quantidade menor de amostras de água para a calibração do equipamento construído, deixando-o mais prático de ser utilizado.

Figura 4.9 – Validação do equipamento construído para amostras de água coletadas da represa de abastecimento da ETA da UFLA. Com $R^2 = 99,93\%$.



Fonte: Do autor (2018).

Os resultados de medição da turbidez pelo equipamento construído e pelo turbidímetro auxiliar durante as quatro semanas em que o equipamento ficou implantado na ETA, são apresentados na Tabela de 4.7.

Tabela 4.7 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação ao turbidímetro auxiliar para o teste de validação em tempo real na ETA da UFLA. Com erro quadrático médio entre as semanas analisadas de 11,91%.

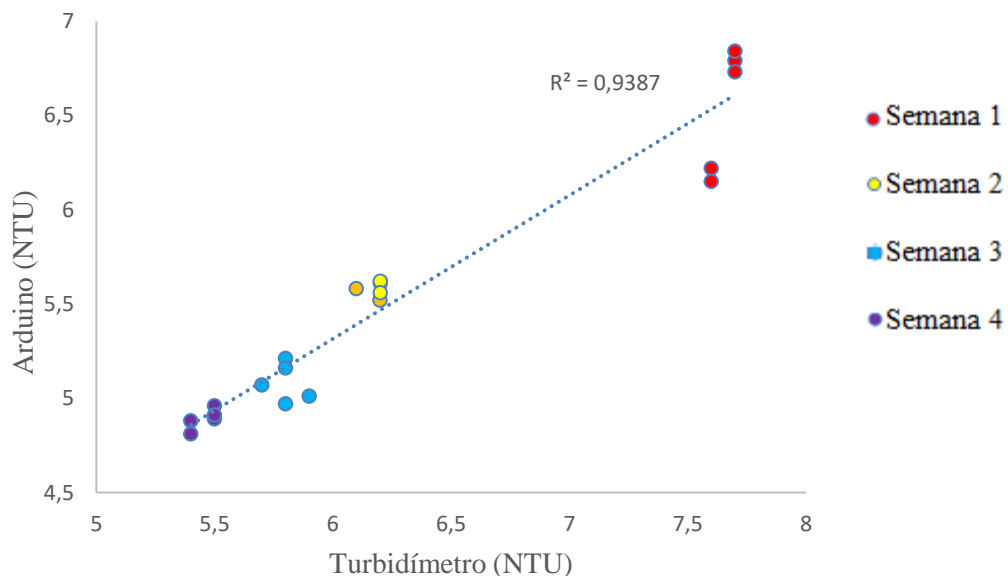
Semanas	Arduino	Turbidímetro auxiliar	RMSE (%)
	μ (NTU)	μ (NTU)	
Semana 1 - 08/06/2018	7,66	6,55	14,94
Semana 2 - 15/06/2018	6,18	5,58	9,77
Semana 3 - 22/06/2018	5,80	5,08	12,49
Semana 4 - 29/06/2018	5,46	4,89	10,45

Legenda: μ - Média; RMSE – Erro quadrático médio.

Fonte: Do autor (2018).

Como pode ser observado na Figura 4.10, os valores de turbidez medidos pelos dois equipamentos ficaram muito próximos, com coeficiente de determinação 93,87%. Portanto, o equipamento implementado tem atingindo resultados promissores para atuar em um sistema automático de monitoramento do grau de turbidez em uma estação de tratamento de água.

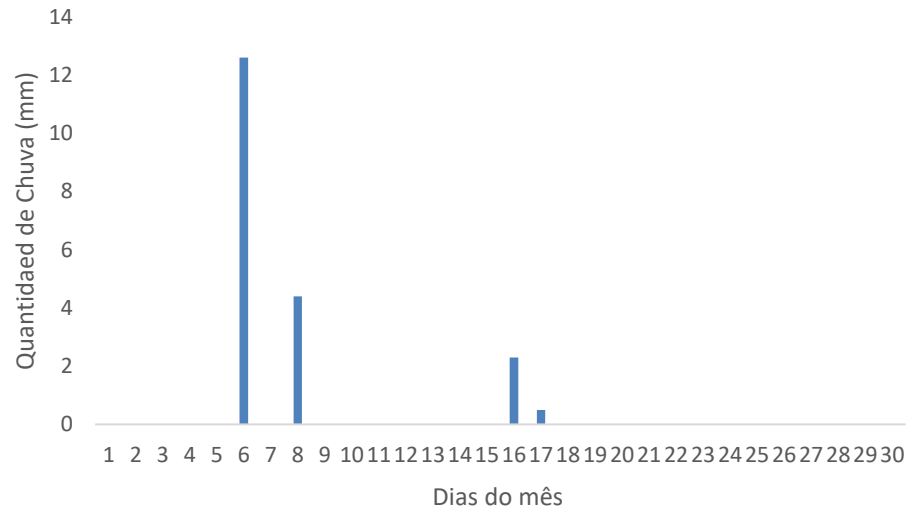
Figura 4.10 – Turbidez medida pelo equipamento proposto em comparação ao turbidímetro auxiliar para o teste de validação em tempo real na ETA da UFLA. Com erro quadrático médio entre as semanas analisadas de 11,91%.



Fonte: Do autor (2018).

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, no mês de junho ocorreu poucas chuvas (Figura 4.11). Portanto, analisando as Figuras 4.10 e 4.11, observa-se que os valores de turbidez foram maiores durante as semanas com maior índice de chuva (Semanas 1 e 2), demonstrando a importância em se realizar o monitoramento em tempo real, para que possíveis mudanças no comportamento da água possam ser detectadas ao mesmo instante.

Figura 4.11 – Dados da quantidade de chuva em (mm) nos dias de junho de 2018.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2018).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um medidor de turbidez utilizando placa Arduino para abrir e fechar válvulas de forma a realizar a coleta automática das amostras de água, além de processamento e conversão da intensidade luminosa das imagens para uma escala de turbidez. O sensor construído foi capaz de realizar as mesmas funções que os medidores de turbidez de processo atualmente disponíveis no mercado, porém um custo financeiro muito reduzido, R\$450,00 contra R\$28.890,00.

Observou-se que amostras contendo argila dispersa e café solúvel em grânulos, apresentam comportamento diferentes nas curvas de calibração do equipamento, mostrando ser necessário a calibração do equipamento com amostras que contenham as características físicas da água bruta aportada à ETA/UFLA.

Para demonstrar a eficiência do aparelho desenvolvido, quatro experimentos de validação foram analisados em paralelo com um turbidímetro de bancada. O erro quadrático médio encontrado nos experimentos, tomando-se como base valores medidos pelo turbidímetro auxiliar, mostram que o medidor desenvolvido obteve bons resultados em uma faixa de medição inferior 1 até 1000NTU, sendo suficiente para se considerar uma amostra de água apropriada para consumo segundo a organização mundial da saúde. Conclui-se, portanto, que o medidor de turbidez desenvolvido é uma boa alternativa para o monitoramento automático da qualidade da água em ETA.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, L.A. et al. Água utilizada em propriedades rurais para o consumo humano e na produção de leite como veículo de bactérias do gênero *Aeromona*. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, v. 101, p. 103–107, 2006.

BOTARI, A.; BOTARI, J.C.; GREATTI, G. Análise da eficiência da coagulação e da floculação em estações de tratamento de água em ciclo completo no Brasil. In: XIV International Conference on Engineering and Technology Education, p.263-267, 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Gasto Público em Saneamento Básico – 2014. Brasília, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016.

CAIXETA, I. F. et al. Coagulação e floculação da água utilizando diferentes biomassas. In: Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura – CENAR. 2017.

CAMPOS, A. et al. Caracterização microbiológica da água do meio rural da região sudoeste do Paraná. *Geoambiente On-Line*, v. 11, p. 206–220, 2008.

CARDOSO, K.C. et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam. *Acta Scientiarum Technology*, v. 30, p. 193–198, 2008.

CONAMA, Resolução. 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, v. 357, 2005.

OLIVEIRA, A. R. M. et al. Estimativa da concentração de sólidos suspensos a partir da turbidez nas águas da bacia do Rio Doce. *Engenharia Agrícola*, v. 38, n. 5, 2018.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. Ed. São Carlos: RiMA, p.1565, 2005.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. *Arduino em ação*. Novatec editora, 2013.

GOMES, J.M.C. Contribuição para o estudo de sistemas de tratamento de água a adoptar em zonas economicamente desfavorecidas. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente – Universidade Nova de Lisboa, 2011.

FRANCO, C. S. Sistema Alternativo de Tratamento de Água em Escala Descentralizada. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

FRANCO, E. S. Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água, 2009.

HART, V. S.; JOHNSON, C. E.; LETTERMAN, R. D. An Analysis of Low-Level Turbidity Measurements. *Journal (American Water Works Association)*, v. 84, p. 40–45, 1992.

JAMALE, R. S.; PARDESHI, S. A. Turbidity Measurement Using Video Camera. *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems*, v. 2, p. 17–20, 2014.

LANDO, G. et al. Direito Fundamental à água: O consumo e a agricultura sustentável pelo uso dos sistemas de cisterna e bioágua familiar nas regiões do seminário brasileiro. *Campo Jurídico*, v. 5, n. 1, p. 35-64, 2017.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. Oficina de textos, 2016.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3. ed. [S.l.]: Átomo, 2010. p. 496. ISBN 9788576701651.

MARTINS, G. S. "Construção de um turbidímetro de baixo custo para controle de qualidade de efluentes industriais." (2012).

PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PIN, L. B.; DE OLIVEIRA, D. F.; AMARAL, E. M.A. LUDEbot: Uma plataforma com servomotores e sensoriamento utilizando a placa Arduino e controle externo. *Proceedings of IEEE ARSO*, 2012.

PORTES, W. A. O. Utilização de Arduino e Eletrônica na Automação Residencial com acessibilidade a Pessoa Portadora de Deficiência. Dissertação apresentada ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, em 2014.

RICHTER, C. A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Blucher, p. 340, 2011.

ROCHA, C.M.B.M. et al. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênicosanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999–2000. Caderno de Saúde Pública, v. 22, p. 1967–1978, 2006.

ROCHA, F. B. et al. "Sistema Automatizado utilizando Tecnologias de Baixo Custo para Controle e Monitoramento de Irrigações no Vale do Açu." IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN. 2013.

ROMÁN-HERRERA, C. et al. Construcción con tecnología abierta de un sensor de turbidez de bajo costo. ITECKNE, v. 13, n. 1, p. 17-22, 2016.

RÔLA, A. K. K. et al. Avaliação da eficiência de coagulantes comerciais para aplicação em sistemas de tratamento de água. The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 2, n. 3, p. 14-33, 2016.

SALGE, P. et al. Soluções de saneamento para comunidades rurais costeiras: Um modelo tecnicamente apropriado e com participação social. In: VI Encontro de Extensão e Cultura da UFPR: entendendo a extensão. Curitiba: [s.n.], 2007.

SILVEIRA, L. R.; COUTINHO, M. M. Utilização de filtro de múltiplas camadas para remoção de turbidez. Tecnia, v. 1, n. 2, p. 65-68, 2016

SKORONSKI, E. et al. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC/Study of the application of tannin in the treatment of drinking water from the Tubarão River at Tubarão, SC. Revista Ambiente & Água 9.4 p679, 2014.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluentes de galvanoplastia. Eclética Química, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VIANA, D. C.; BRAGA, R. A. Turbidímetro de baixo custo baseado em processamento de imagens. In: JUBILEU de Ouro da SBEA. [S.l.: s.n.], 2015. ISBN 9788564681101.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for Drinking-water Quality. Recommendations, World Health Organization, Genebra, Suíça, 2008.

ANEXO A – Algoritmo para medição automática de turbidez

O próprio fabricante do módulo ov7670 disponibilizado um código padrão com todas as funções disponíveis da câmera, porém, como foi explicado na metodologia deste trabalho, algumas funções foram modificadas. Esta modificação foi realizada escrevendo 0x00 nos registradores de cada função a ser desabilitada, seguindo o datasheet do modulo ov7670 (também disponibilizado pelo fabricante). Os registradores que foram modificados se encontram no item “Registradores modificados” no algoritmo abaixo. As funções implementas para o controle e medição da turbidez se encontram na parte final do algoritmo a seguir. Neste anexo, as funções de calibração estão para o uso do medidor na estação de tratamento de água na UFLA, para a utilização em uma outra localidade, deve-se modificar as equações calibrando-se o equipamento.

✓ Algoritmo utilizado neste trabalho

//Bibliotecas incluídas:

```
#include <stdint.h>
```

```
#include <avr/io.h>
```

```
#include <util/twi.h>
```

```
#include <util/delay.h>
```

```
#include <avr/pgmspace.h>
```

//Registradores modificados

```
#define REG_COM8 0x00 /* Desativar controle de contraste*/
```

```
#define COM8_BFILT 0x00 /* Desativar filtro de banda */
```

```
#define COM8_AGC 0x00 /* Desativar ganho automático */
```

```
#define COM8_AWB 0x00 /* Desativar equilíbrio de branco*/
```

```
#define COM8_AEC 0x00 /* Desativar exposição automática */
```

```
#define COM11_NIGHT 0x00 /* Desativar modo noturno */
```

```
#define COM13_GAMMA 0x00 /* Desativar ganho habilitado */
```

```
#define COM13_UVSAT 0x00 /* Desativar ajuste automático de UV */
```

```
#define COM16_AWBGAIN 0x00 /* Desativar ganho do balanço de branco */
```

```
#define REG_BRIGHT 0x00 /* Desativar brilho automático*/
```

```
#define REG_CONTRAS 0x00 /* Desativar controle de contraste */
```

```
#define R76_BLKPCOR 0x00 /* Desativar correção de pixel preto */
```

```
#define R76_WHTPCOR 0x00 /* Desativar correção de pixel branco */
```

//Habilitar o funcionamento da câmera (Código original)

```

struct regval_list{
    uint8_t reg_num;
    uint16_t value;
};

const struct regval_list qvga_ov7670[] PROGMEM = {
    { REG_COM14, 0x19 },
    { 0x72, 0x11 },
    { 0x73, 0xf1 },

    { REG_HSTART, 0x16 },
    { REG_HSTOP, 0x04 },
    { REG_HREF, 0xa4 },
    { REG_VSTART, 0x02 },
    { REG_VSTOP, 0x7a },
    { REG_VREF, 0x0a },
};

const struct regval_list yuv422_ov7670[] PROGMEM = {
    { REG_COM7, 0x0 }, /* Selects YUV mode */
    { REG_RGB444, 0 }, /* No RGB444 please */
    { REG_COM1, 0 },
    { REG_COM15, COM15_R00FF },
    { REG_COM9, 0x6A }, /* 128x gain ceiling; 0x8 is reserved bit */
    { 0x4f, 0x80 }, /* "matrix coefficient 1" */
    { 0x50, 0x80 }, /* "matrix coefficient 2" */
    { 0x51, 0 }, /* vb */
    { 0x52, 0x22 }, /* "matrix coefficient 4" */
    { 0x53, 0x5e }, /* "matrix coefficient 5" */
    { 0x54, 0x80 }, /* "matrix coefficient 6" */
    { 0xff, 0xff }, /* END MARKER */
};

/* Matrix coefficients */
{ 0x4f, 0x80 }, { 0x50, 0x80 },
{ 0x51, 0 }, { 0x52, 0x22 },
{ 0x53, 0x5e }, { 0x54, 0x80 },
{ 0x58, 0x9e },

{ REG_COM16, COM16_AWBGAIN }, { REG_EDGE, 0 },

```

```

{ 0x75, 0x05 }, { REG_REG76, 0xe1 },
{ 0x4c, 0 }, { 0x77, 0x01 },
{ REG_COM13, /*0xc3*/0x48 }, { 0x4b, 0x09 },
{ 0xc9, 0x60 }, /*{REG_COM16, 0x38},*/
{ 0x56, 0x40 },

{ 0x34, 0x11 }, { REG_COM11, COM11_EXP | COM11_HZAUTO },
{ 0xa4, 0x82/*Was 0x88*/ }, { 0x96, 0 },
{ 0x97, 0x30 }, { 0x98, 0x20 },
{ 0x99, 0x30 }, { 0x9a, 0x84 },
{ 0x9b, 0x29 }, { 0x9c, 0x03 },
{ 0x9d, 0x4c }, { 0x9e, 0x3f },
{ 0x78, 0x04 },
};
void error_led(void){
    DDRB |= 32;//make sure led is output
    while (1){//wait for reset
        PORTB ^= 32;// toggle led
        _delay_ms(100);
    }
}
void twiStart(void){
    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWSTA) | _BV(TWEN);//send start
    while (!(TWCR & (1 << TWINT)));//wait for start to be transmitted
    if ((TWSR & 0xF8) != TW_START)
        error_led();
}
void twiWriteByte(uint8_t DATA, uint8_t type){
    TWDR = DATA;
    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWEN);
    while (!(TWCR & (1 << TWINT))) {}
    if ((TWSR & 0xF8) != type)
        error_led();
}
void twiAddr(uint8_t addr, uint8_t typeTWI){
    TWDR = addr;//send address
    TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWEN); /* clear interrupt to start transmission */
}

```

```

while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0); /* wait for transmission */
if ((TWSR & 0xF8) != typeTWI)
    error_led();
}

void wrReg(uint8_t reg, uint8_t dat){
    //send start condition
    twiStart();
    twiAddr(camAddr_WR, TW_MT_SLA_ACK);
    twiWriteByte(reg, TW_MT_DATA_ACK);
    twiWriteByte(dat, TW_MT_DATA_ACK);
    TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN) | (1 << TWSTO); //send stop
    _delay_ms(1);
}

static uint8_t twiRd(uint8_t nack){
    if (nack){
        TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWEN);
        while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0); /* wait for transmission */
        if ((TWSR & 0xF8) != TW_MR_DATA_NACK)
            error_led();
        return TWDR;
    }
    else{
        TWCR = _BV(TWINT) | _BV(TWEN) | _BV(TWEA);
        while ((TWCR & _BV(TWINT)) == 0); /* wait for transmission */
        if ((TWSR & 0xF8) != TW_MR_DATA_ACK)
            error_led();
        return TWDR;
    }
}

uint8_t rdReg(uint8_t reg){
    uint8_t dat;
    twiStart();
    twiAddr(camAddr_WR, TW_MT_SLA_ACK);
    twiWriteByte(reg, TW_MT_DATA_ACK);
    TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN) | (1 << TWSTO); //send stop

```

```

_delay_ms(1);
twiStart();
twiAddr(camAddr_RD, TW_MR_SLA_ACK);
dat = twiRd(1);
TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN) | (1 << TWSTO);//send stop
_delay_ms(1);
return dat;
}

```

```

void wrSensorRegs8_8(const struct regval_list reglist[]){
  uint8_t reg_addr, reg_val;
  const struct regval_list *next = reglist;
  while ((reg_addr != 0xff) | (reg_val != 0xff)){
    reg_addr = pgm_read_byte(&next->reg_num);
    reg_val = pgm_read_byte(&next->value);
    wrReg(reg_addr, reg_val);
    next++;
  }
}

```

```

void StringPgm(const char * str){
  do{
    while (!(UCSR0A & (1 << UDRE0)));// espera o byte transmitir
    UDR0 = pgm_read_byte_near(str);
    while (!(UCSR0A & (1 << UDRE0)));// espera o byte transmitir
  } while (pgm_read_byte_near(++str));
}

```

//Controle do rele e dos sensores de nível

//Pinos do sensor de nível baixo e alto

```
int pinosensorNB = 9;
```

```
int pinosensorNA = 10;
```

//Pinos dos rele para controle da válvula de entrada e saída da água

```
int releIN = 12;
```

```
int releOUT = 13;
```

```
void setup(){
```

```

cli();
// setup the 8mhz PWM clock (this will be on pin 11)
DDRB |= (1 << 3); //pin 11
ASSR &= ~(_BV(EXCLK) | _BV(AS2));
TCCR2A = (1 << COM2A0) | (1 << WGM21) | (1 << WGM20);
TCCR2B = (1 << WGM22) | (1 << CS20);
OCR2A = 0; // (F_CPU) / (2 * (X+1))
DDRC &= ~15; // low d0-d3 camera
DDRD &= ~252; // d7-d4 and interrupt pins
_delay_ms(3000);

//set up twi for 100khz
TWSR &= ~3; // disable prescaler for TWI
TWBR = 72; // set to 100khz

// ativar serial
UBRR0H = 0;
UBRR0L = 1; // taxa de transmissão 1M
UCSR0A |= 2; // velocidade dupla assíncrona
UCSR0B = (1 << RXEN0) | (1 << TXEN0); // Ativar receptor e transmissor
UCSR0C = 6; // async 1 bit de parada 8bit char sem bits de paridade

//camInit
wrReg(0x12, 0x80);
_delay_ms(100);
wrSensorRegs8_8(ov7670_default_regs);
wrReg(REG_COM10, 32); // PCLK não alterna no HBLANK.

//setRes
wrReg(REG_COM3, 4); // REG_COM3 ativar escalonamento
wrSensorRegs8_8(qvga_ov7670);

//setColor
wrSensorRegs8_8(yuv422_ov7670);

wrReg(0x11, 11); // Versão do wrReg

```

```

Serial.begin(9600); // abrir a porta serial em 9600 bps:
//Os rele são sinais de saída
pinMode(releIN, OUTPUT); //declarar o pino do rele de entrada como sinal de saída do Arduino
pinMode(releOUT, OUTPUT); //declarar o pino do rele de saída como sinal de saída do Arduino

//As valvulas começam fechadas
pinMode(releIN, HIGH); //declarar o pino do rele de entrada em nível alto
pinMode(releOUT, HIGH); //declarar o pino do rele de saída em nível alto
//Os sensores de nível são sinais de entrada no Arduino
pinMode(pinosensorNB, INPUT); //declarar o pino do sensor de nível baixo como entrada do sinal
                                //no Arduino
pinMode(pinosensorNA, INPUT); //declarar o pino do sensor de nível alto como entrada do sinal
                                //no Arduino
}
void loop(){
  float media =0;
  float NTU =0;
  float luz =0;
  float soma =0;
  float Tonalidade;
  float divsoma =0;
  uint16_t y, x;

  //Estado do sensor:
  // Se ele tiver aberto, entao ele esta em nivel logico 0
  // Se ele tiver fechado, entao ele esta em nivel logico 1
  int estadoNB = digitalRead(pinosensorNB); // estadoNB recebe o estado do sensor de nivel baixo
  int estadoNA = digitalRead(pinosensorNA); //estadoNA recebe o estado do sensor de nivel alto

  if (estadoNB == HIGH){ //Se recipiente tiver vazio o sensor de baixo está em nível lógico 1
    Serial.print("Reservatório vazio");
    Serial.println();
    digitalWrite(releIN, LOW); //Abre a válvula de entrada
    digitalWrite(releOUT, HIGH); //Fecha a válvula de saída
  }
  if (estadoNB == LOW && estadoNA == LOW){ //Se estadoNB = 0 e estadoNA=1

```

```

Serial.print("Reservatório no meio");
Serial.println();
}
if (estadoNA == HIGH){ //Se tiver cheio o sensor de nível alto estará em nível lógico 1
Serial.print("Reservatório Cheio");
Serial.println();
digitalWrite(releIN, HIGH); //Fecha a válvula de entrada
delay_ms(10000);
//Leitura da câmera
while (!(PIND & 8));// aguarde alta
while ((PIND & 8));// aguarde baixa
y = 240;
while (y--){
x = 320;
while (x--){
Tonalidade = 0;
while ((PIND & 4));// aguarde baixa
// Determinação da tonalidade do pixel
Tonalidade = ((PINC & 15) | (PIND & 240));
soma = (Tonalidade + soma);
divsoma++;
}
while (!(PIND & 4));// aguarde alta
while ((PIND & 4));// aguarde baixa
while (!(PIND & 4));// aguarde alta
}
luz = (soma/divsoma);
//Total de 76800 pixel
Serial.print("Intensidade: ");
Serial.print(luz);
Serial.println();
//As condições abaixo são para a calibração do equipamento na estação de tratamento
//Se mudar o tipo de tratamento, deve-se mudar as funções abaixo
//Polinomial quadrática
if (luz >= 95){
NTU = (-0.8487*luz) + 110.34;
Serial.print("NTU = ");

```



```
Serial.print(NTU);
Serial.println();
}
//curva linear
if (luz < 95){
  NTU = 11217 * exp(-0.059*luz);
  Serial.print("NTU = ");
  Serial.print(NTU);
  Serial.println();
}
_delay_ms(5000);
digitalWrite(releOUT, LOW); //Abre a válvula de saída
_delay_ms(55000); //delay de 55s para dar um intervalo de 1 minuto por clico de medição
}
_delay_ms(1000);
}
```

ANEXO B – Orçamento de um turbidímetro de processo



Embu,(SP) 10/10/2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Lavras MG

Atenção : Thiago Ribeiro

Telefone : 35999857976

Referência :

Depto :

E-mail : thiagoth4@hotmail.com

CERTIFICADO ISO 9001/

N.Proposta Comercial

P 333701 Rev 00 RM

Prezados Senhores

Conforme Solicitação de V.Sas. , apresentamos nossas condições técnicas e comerciais para o fornecimento do material especificado em anexo.

Condições Comerciais

Condição Pagamento : 20% com o pedido
30% com aviso de equipamentos prontos.
50% a 30 ddl

Dados para o depósito:

BANCO ITAU S/A

Agência 0568

C/C 02329-5

CNPJ 60.659.166/0001-46

Se, por ocasião do faturamento, a CONAUT constatar a existência de restrições cadastrais do cliente junto aos órgãos de proteção e restrição ao crédito, a CONAUT terá o direito de exigir pagamento antecipado a entrega do material, na recusa do pagamento a CONAUT poderá suspender a entrega ou mesmo cancelar o pedido.

Embalagem : Sem ônus.**Local Entrega :** CIF - Destino/MG.**Prazo Entrega :** 60/75 dias.**Reajuste :** Os preços são baseados no EURO (R\$ 4,2936). Ocorrendo variação cambial, os preços serão reajustados até a data do efetivo faturamento.**Validade :** 15 dias.**Impostos :** ICMS 4% - INCLUSO / IPI ZERO
PIS e COFINS 9,25% – INCLUSO**Posição Fiscal :** 9027.50.90

Anexos

- Catálogo

Representantes

Jair Rodrigues - GERENTE REGIONAL
Sanderson G. de Oliveira

(085) 9 8402-4879

31 8743-5001 / 3487-2253 / 3072- sanderson@fluxoautomacao.com.br

jair.rodrigues@conaut.com.br

MATRIZ : Estrada Louis Pasteur, 382 CEP: 06835-701 Embu das Artes SP CP : 56 PABX : (11) 4785-2722 FAX : (11)4785-2768

FILIAL : Rua Intemacional, 309 Bairro: Vale Encantado CEP : 27930-075 Macae RJ FONE : (22) 2106-0250 FAX : (22)2106-0293

www.conaut.com.br - E-mail : vendas@conaut.com.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (P 333701 Rev 00 RM)

Item	Qtde.	Descrição	F.Dados	Vlr.Unitário	Vlr.Total
1	1	Sistema de medição de turbidez	-	28.879,00	28.879,00

O sistema compacto de medição de turbidez OPTISYS TUR 1050 usa o método de espalhamento de luz a 90 ° para analisar amostras de líquidos em cubetas de vidro.

Como a cubeta de medição pode ser substituída de forma simples e rápida por cubetas padrão de turbidez conhecida, é possível uma recalibração dentro de alguns minutos. Outra característica é a função automática de limpeza ultrassônica que remove os depósitos da parede da cubeta e prolonga os intervalos de manutenção.

Aplicação: Sensor para aplicações em águas limpas
 Princípio de medição: espalhamento de luz
 Range de medição: 0...100 NTU
 Precisão: 2%
 Resolução: 0,0001
 Vazão da amostra: 0,1 l/h
 Cond. Mínima: >200 MicroSiemens/cm
 Temperatura ambiente: +1...+50°C
 Temperatura do processo: +1...+50°C
 Pressão max.: 14 bar
 Montagem em parede
 Instalação: Bypass
 Sinal de saída: 1 x 4...20mA
 Alimentação: 100 ~ 240 VCA
 Rele: 2x reles
 Sistema de limpeza: Ultrassônico
 Grau de proteção: IP 66
 Acessório: Incluso Kit de Calibração
Modelo : OPTISYS TUR 1050 + KIT DE CALIBRAÇÃO

Total R\$	28.879,00
------------------	------------------

* Impostos vide condições comerciais.