Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente



DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO - 35ETC-06784

VALIDAÇÃO DE EQUIPAMENTO ESPECTROFOTOMÉTRICO ANALÍTICO PARA AVALIAÇÃO DE COR DA ÁGUA EM FLUXO

Ana Maria Munaretto Durigon
Camila Gonzales Cruz
Cezar Augusto da Rosa
Fabricio Butierres Santana

ana.d@augenengenharia.com

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



INTRODUÇÃO

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

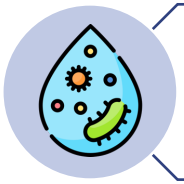
INTRODUÇÃO



Água com cor



Presença de substâncias indesejadas



Poluição ou contaminação



Remoção – água adequada para aplicações gerais ou industriais

INTRODUÇÃO



Cor Verdadeira



Cor Aparente

INTRODUÇÃO



Atividades antropogênicas e eventos climáticos



Transporte de sólidos em suspensão, nutrientes e outros poluentes para corpos d'água receptores



Catástrofe climática RS



Qualidade da água disponível para consumo comprometida

INTRODUÇÃO

- ✓ Sistemas de controle e gestão para análise dos parâmetros da água que consigam analisar e transmitir em tempo real resultados analíticos.

Medição contínua de Cor

Analisadores de processo deste parâmetro são dificilmente encontrados no mercado

Alta sensibilidade, dificuldade de medição da Cor em diferentes matrizes

INTRODUÇÃO

- ✓ Monitoramento em tempo real e detecção de alterações que podem indicar contaminações e anomalias



- ✓ Assegurar a conformidade com padrões de qualidade e órgãos regulamentadores;



- ✓ Além de contribuir diretamente para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



OBJETIVO

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

OBJETIVO

O presente trabalho visa o desenvolvimento de um equipamento e a validação de um método de análise colorimétrica de cor aparente em fluxo contínuo, visando a conformidade do mesmo com os procedimentos contidos no *Standard Methods* e as diretrizes do *Inmetro*.

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



METODOLOGIA UTILIZADA

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

METODOLOGIA UTILIZADA

Desenvolvimento do Analisador de Cor





- *Método Standard Methods* 2120 C adaptado

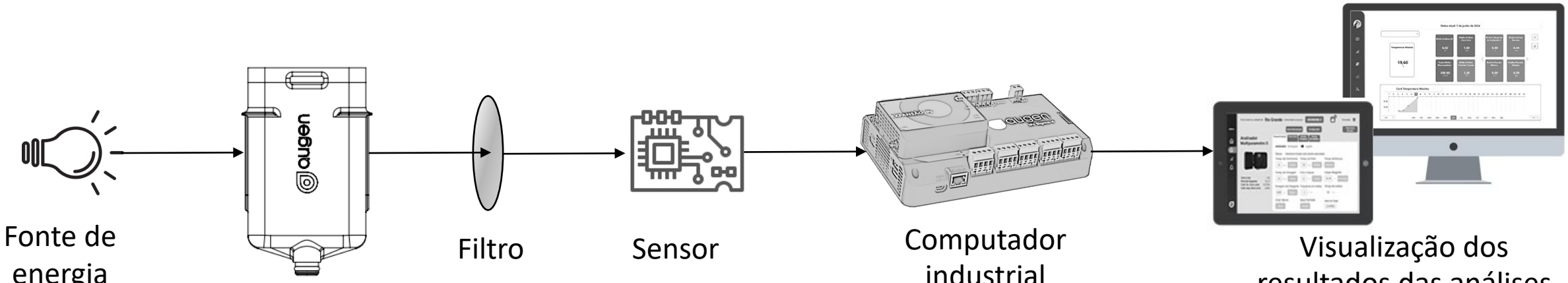
Diodo emissor de luz (LED) de 455 nm

Determinação de Cor por meio da comparação da intensidade de luz absorvida pela amostra de interesse sob condições definidas, com a intensidade de luz absorvida por uma solução de referência padrão nas mesmas condições.

BAIRD et al., 2017

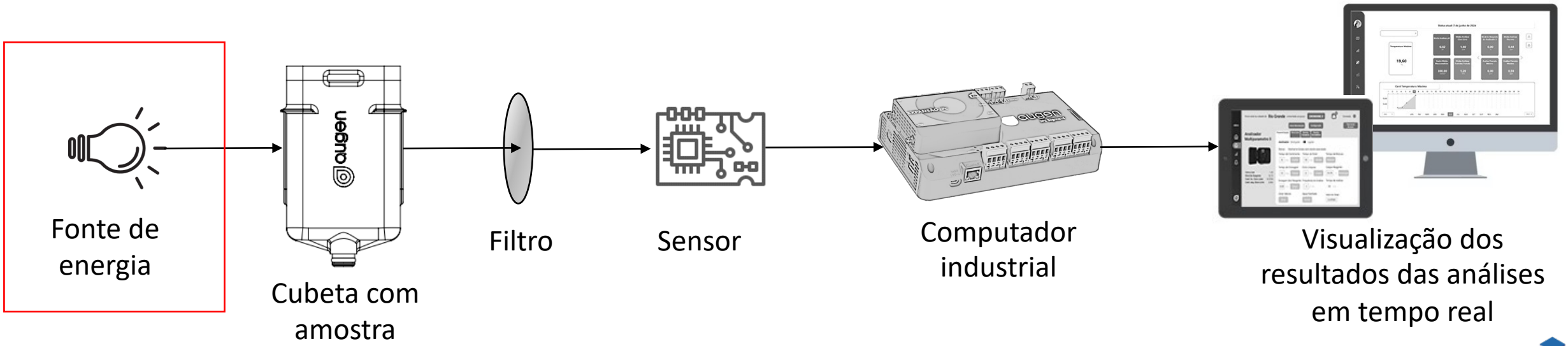
METODOLOGIA UTILIZADA

Desenvolvimento do Analisador de Cor



METODOLOGIA UTILIZADA

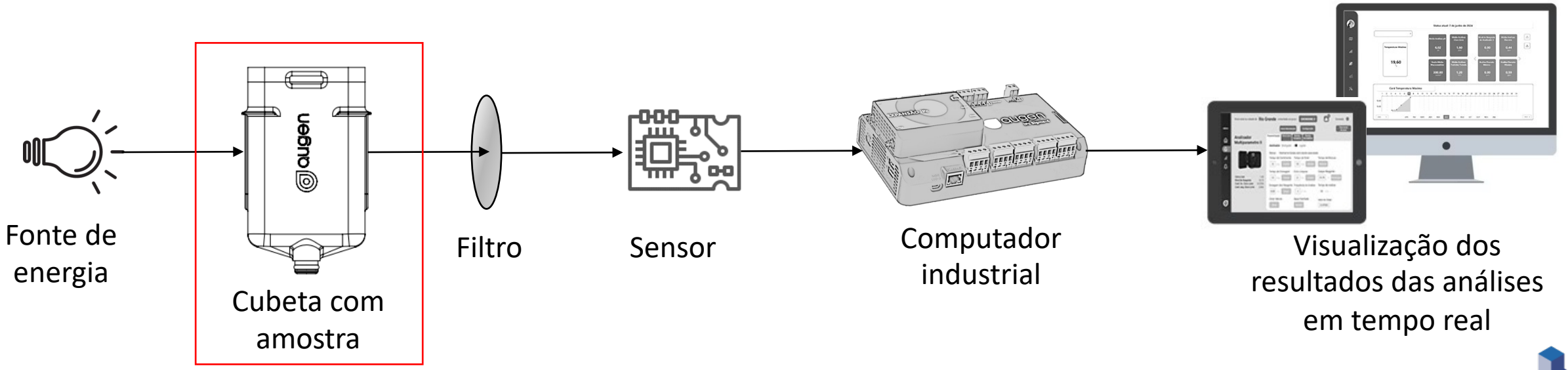
Desenvolvimento do Analisador de Cor



LED de 455 nm

METODOLOGIA UTILIZADA

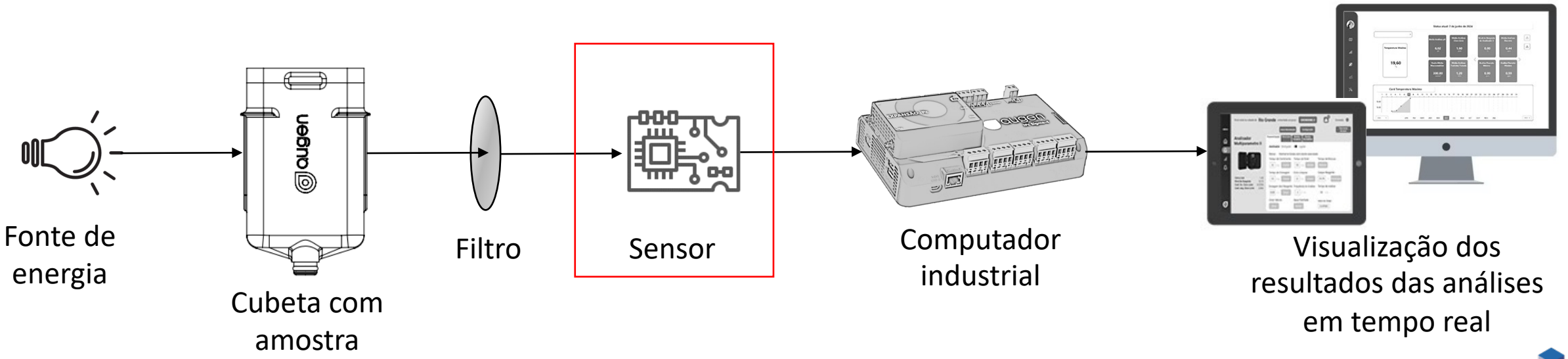
Desenvolvimento do Analisador de Cor



- **Cubeta retangular (50x30 mm) e válvula solenoide elétrica para saída da água para realização de uma nova análise.**
- **Entrada e saída de amostra por meio de mangueiras de borracha (4x6 mm) acopladas na cubeta e válvula que controla a entrada e saída de água.**

METODOLOGIA UTILIZADA

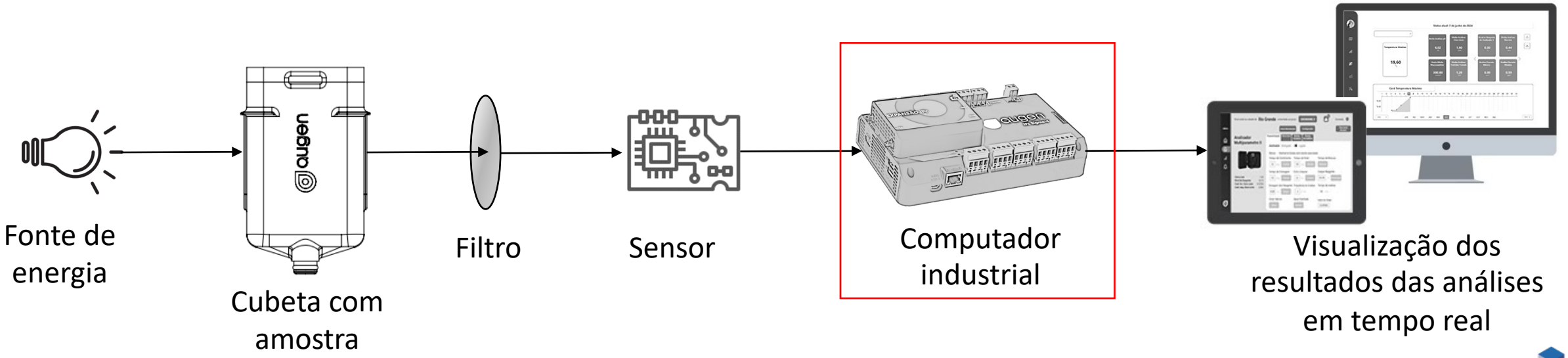
Desenvolvimento do Analisador de Cor



- **Receptor posicionado a 180° em relação ao emissor**

METODOLOGIA UTILIZADA

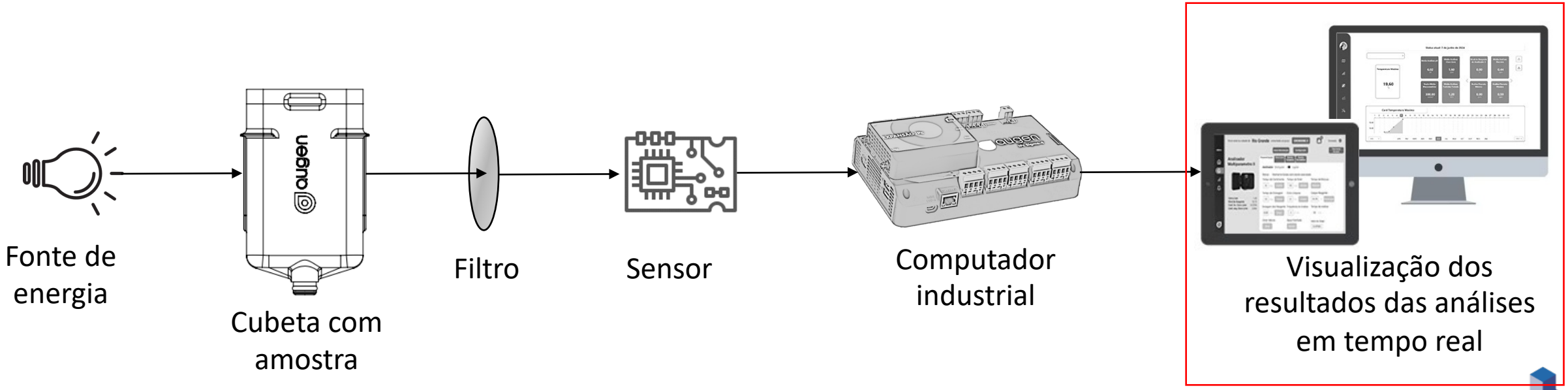
Desenvolvimento do Analisador de Cor



- **Conversão dos sinais brutos captados pelo sensor em resultados que serão visualizados em tempo real**

METODOLOGIA UTILIZADA

Desenvolvimento do Analisador de Cor



- **Inteligência computacional que permite análise, controle e gestão da medição da amostra de água.**

METODOLOGIA UTILIZADA

Validação da Metodologia

- O método foi validado seguindo as orientações sobre validação de métodos analíticos de Junho de 2020, da Coordenação Geral de Acreditação, do Inmetro (INMETRO, 2020).

METODOLOGIA UTILIZADA

Validação da Metodologia

- Linearidade

A linearidade do método foi avaliada por meio da construção da curva de calibração. Os testes utilizados para validar o equipamento e sua metodologia foram realizados a partir da coleta de dados de absorbância. A curva de calibração de cor foi construída a partir da leitura de soluções de 0 – 50 uC, utilizando padrão de platina-cobalto 500 uC (Qhemis High purity, Hexis científica, São Paulo, Brasil).

METODOLOGIA UTILIZADA

Validação da Metodologia

A fim de comprovação da confiabilidade do equipamento e método desenvolvido, utilizou-se como comparação e referência um espectrofotômetro de bancada da marca HACH (DR3900, Hexis, Brasil).



METODOLOGIA UTILIZADA

Validação da Metodologia

- Precisão

O ensaio de precisão foi realizado a fim de obter a estimativa da dispersão de resultados entre ensaios independentes, repetidos de um mesmo padrão (7 uC). Para determinar a repetitividade foram realizadas vinte e cinco réplicas independentes. Para as respostas foram calculadas a média, o desvio padrão e o desvio padrão relativo dos resultados obtidos.

METODOLOGIA UTILIZADA

Validação da Metodologia

- Exatidão

A exatidão é a concordância entre a média dos resultados de um ensaio e o valor aceito como verdadeiro. A determinação da exatidão foi realizada utilizando material de referência certificado (MRC). Foram realizadas 3 réplicas do padrão, em 6 níveis de concentração, compreendendo o intervalo de linearidade do procedimento. A partir dos resultados obtidos, foram calculadas as concentrações médias, os desvios-padrão e as recuperações das amostras em cada nível de concentração.

METODOLOGIA UTILIZADA

Aplicação

- A aplicabilidade do método foi avaliada a fim de quantificar a cor na presença de diferentes amostras de água. Foram realizados experimentos para avaliação da seletividade envolvendo ensaios com padrões ou materiais de referência e amostras com e sem a presença de cor.

METODOLOGIA UTILIZADA

Aplicação

- Além disso, foi avaliada a faixa de trabalho da metodologia, a qual avaliou a menor concentração e a maior concentração de cor na amostra para o qual se demonstrou que o procedimento analítico tem um nível aceitável de linearidade, precisão e exatidão.

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



RESULTADOS OBTIDOS

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

RESULTADOS OBTIDOS

Desenvolvimento do Analisador de Cor



Figura 1 - Analisador Colorimétrico de Cor

Medição da cor da água em fluxo contínuo

Dados em tempo real para o monitoramento e controle da qualidade da água

Projetado para estações de tratamento de água, indústrias e sistemas de abastecimento, onde a manutenção da qualidade da água é de extrema importância

RESULTADOS OBTIDOS

Desenvolvimento do Analisador de Cor



Figura 2 – Interface do aplicativo para uso do Analisador de Cor.

O funcionamento do equipamento é controlado através da interface de um aplicativo previamente instalado no tablet que acompanha o equipamento Augen

RESULTADOS OBTIDOS

Desenvolvimento do Analisador de Cor



Figura 2 – Interface do aplicativo para uso do Analisador de Cor.

Durante esse processo, a cor da amostra é medida e o resultado é rapidamente transmitido ao aplicativo como uma concentração de cor

RESULTADOS OBTIDOS

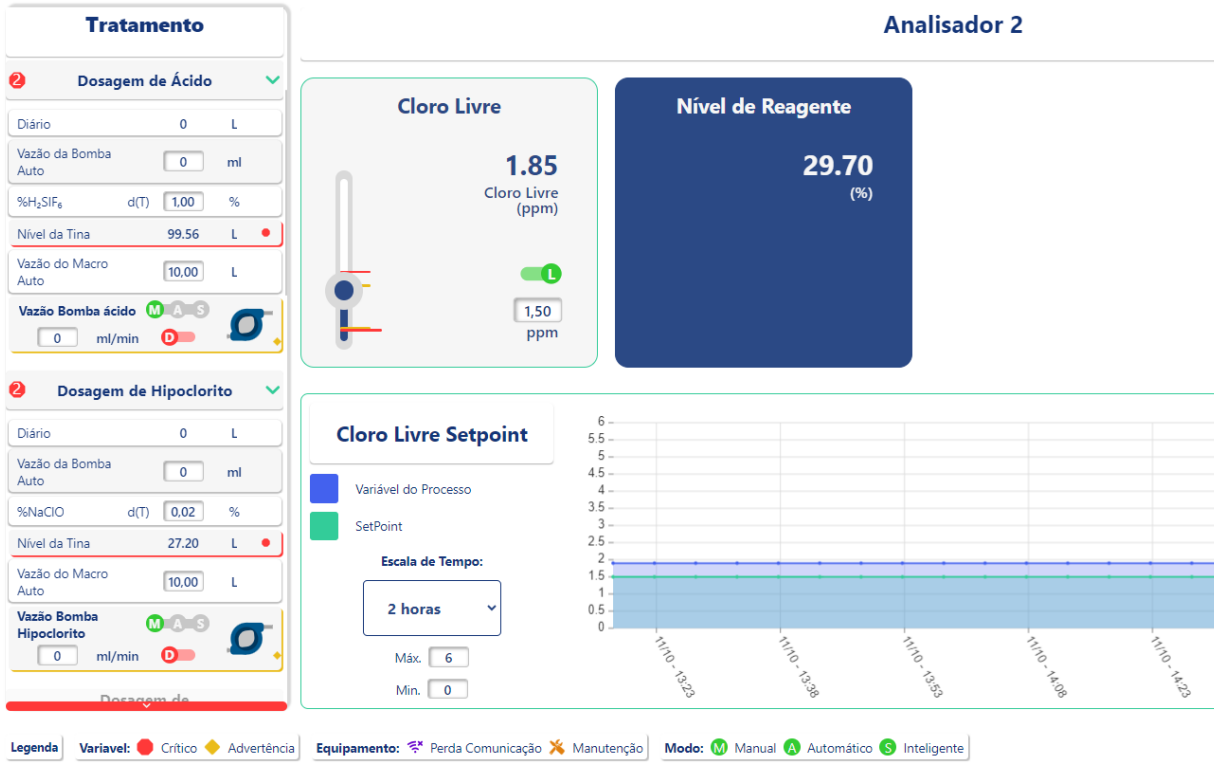
Desenvolvimento do Analisador de Cor



Figura 2 – Interface do aplicativo para uso do Analisador de Cor.

O usuário pode ajustar a frequência dessas medições conforme necessário

RESULTADOS OBTIDOS



- ✓ Histórico de análises registrado em dashboard
- ✓ Monitoramento remoto do processo

RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor

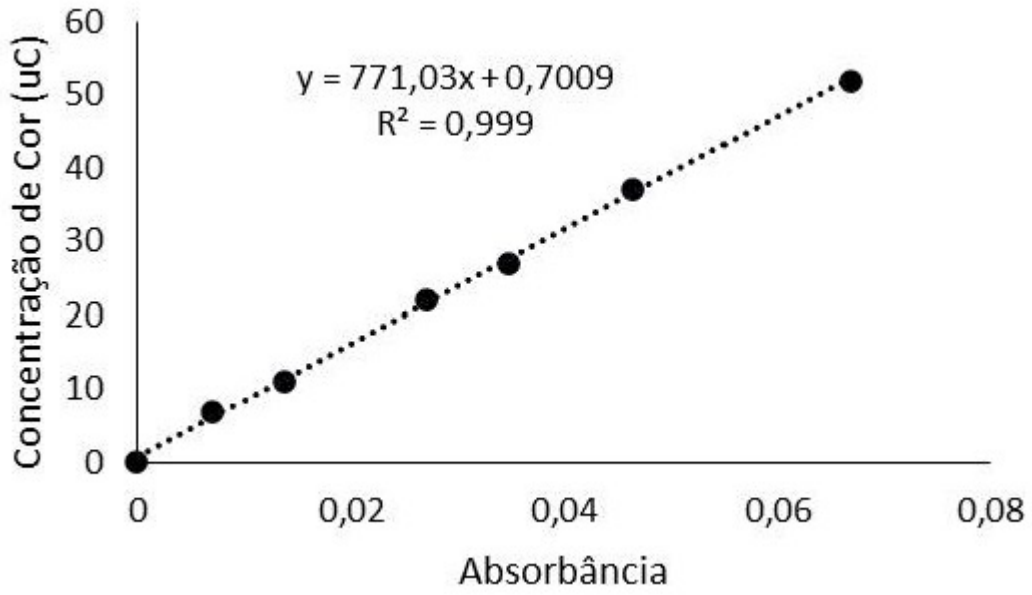


Figura 3 – Curva de calibração do Analisador de Cor.

RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor

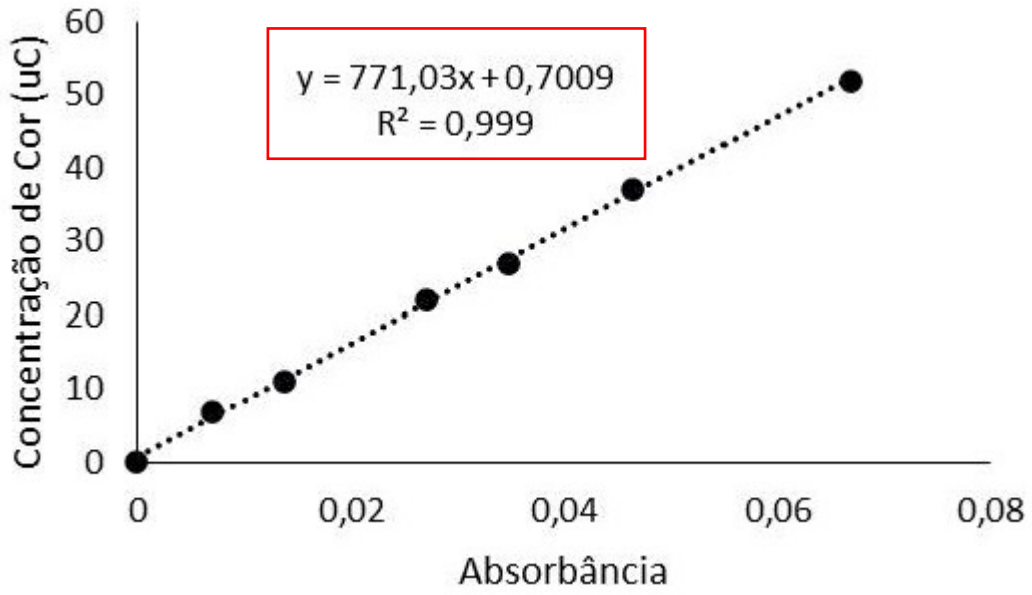


Figura 3 – Curva de calibração do Analisador de Cor.

RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor

Tabela 1 – Ensaio de Precisão do método desenvolvido para medição de Cor.

Parâmetro	Respostas
Média (uC)	7,67
Desvio Padrão	0,30
Desvio Padrão Relativo (%)	4,0

RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor

Tabela 1 – Ensaio de Precisão do método desenvolvido para medição de Cor.

Parâmetro	Respostas
Média (uC)	7,67
Desvio Padrão	0,30
Desvio Padrão Relativo (%)	4,0

Inmetro: DPR inferior a 7,3% para amostras com concentração de 1 e 10 ppm.

RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor

Tabela 2 – Ensaio de Exatidão do método desenvolvido para medição de Cor.

Padrão (uC)	Média de Concentração (uC)	Recuperação (%)
10	$9,9 \pm 0,6$	99,1
20	$20,8 \pm 0,4$	103,8
30	$28,6 \pm 0,4$	95,3
40	$37,3 \pm 0,2$	93,2
50	$52,2 \pm 0,4$	104,4

RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor

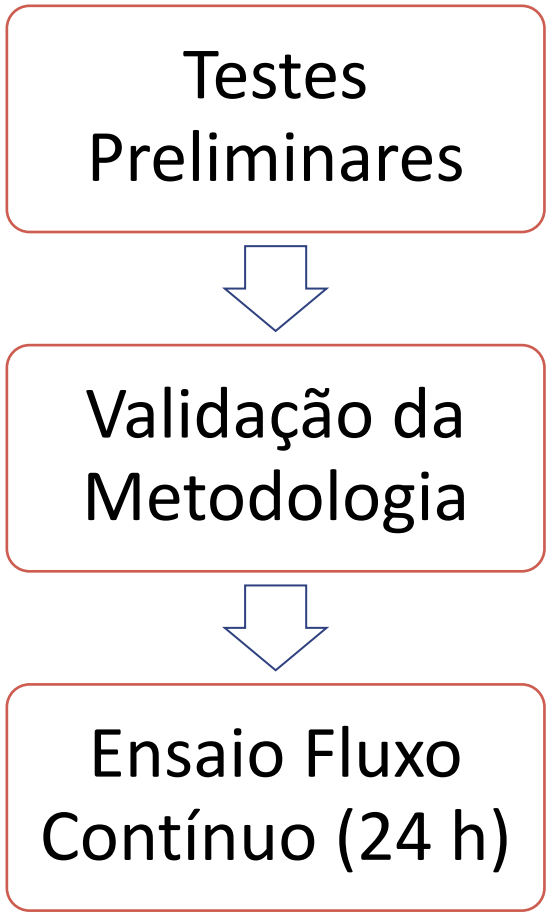
Tabela 2 – Ensaio de Exatidão do método desenvolvido para medição de Cor.

Padrão (uC)	Média de Concentração (uC)	Recuperação (%)
10	9,9 ± 0,6	99,1
20	20,8 ± 0,4	103,8
30	28,6 ± 0,4	95,3
40	37,3 ± 0,2	93,2
50	52,2 ± 0,4	104,4

Dentro das especificações esperadas para as faixas de concentrações testadas (80-110% para amostras com concentração de 1 a 10 ppm e 90-107% para concentrações de 10 a 100 ppm).

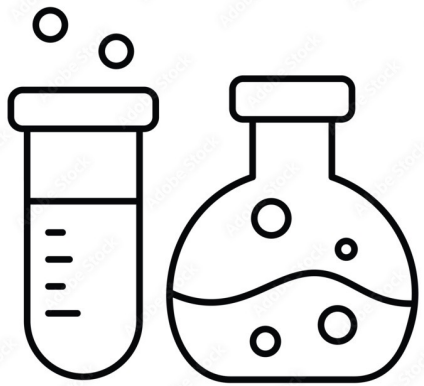
RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor



RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor



Testes Preliminares

↓

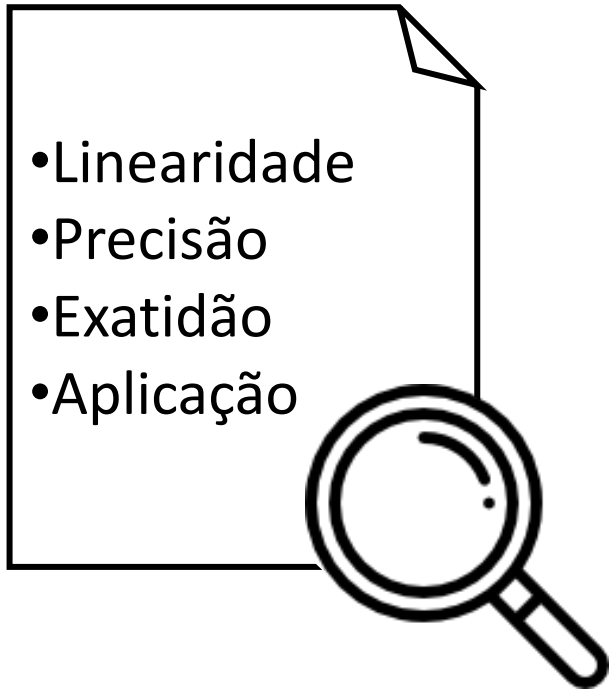
Validação da Metodologia

↓

Ensaio Fluxo Contínuo (24 h)

RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor



Testes Preliminares

⇩

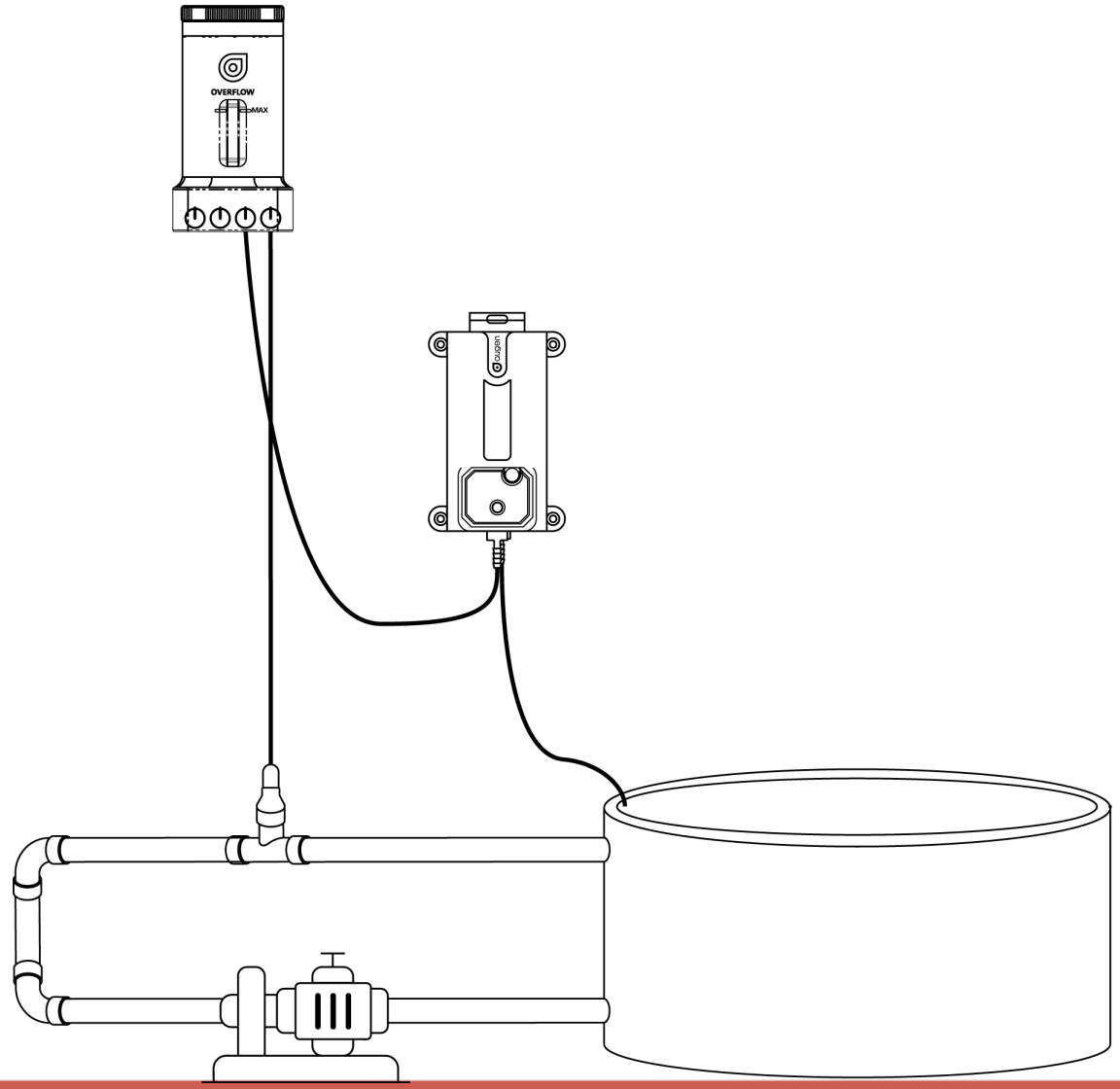
Validação da Metodologia

⇩

Ensaio Fluxo Contínuo (24 h)

RESULTADOS OBTIDOS

Validação do Método de Medição de Cor



Testes Preliminares

⇩

Validação da Metodologia

⇩

Ensaio Fluxo Contínuo (24 h)

RESULTADOS OBTIDOS

Ensaio de Fluxo contínuo



Figura 4 – Visualização do sistema de controle do Analisador de Cor Augen mostrando 3 análises / h de uma água tratada ao longo de 24 h.

RESULTADOS OBTIDOS

Ensaio de Fluxo contínuo



Figura 4 – Visualização do sistema de controle do Analisador de Cor Augen mostrando 3 análises / h de uma água tratada ao longo de 24 h.

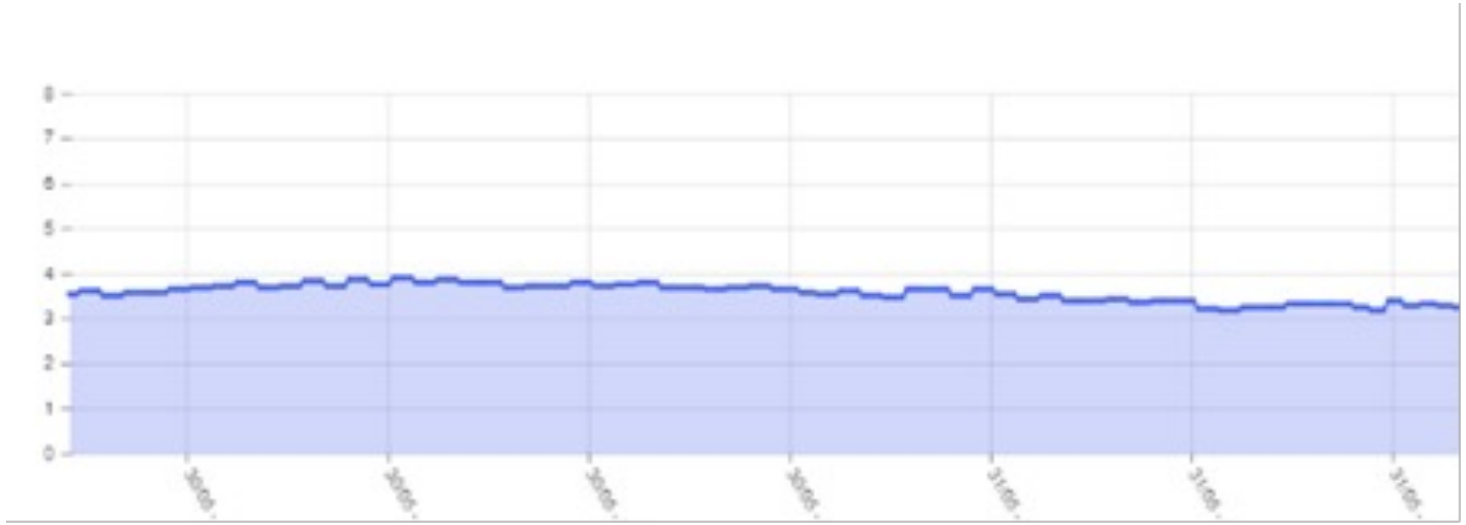
Os resultados obtidos para uma amostra de 3,5 uC foram monitorados durante um período de 24 horas.

RESULTADOS OBTIDOS

Ensaio de Fluxo contínuo

Analisador Colorimétrico de Cor





Desvio Padrão Relativo (DPR): 4%

RESULTADOS OBTIDOS

Ensaio de Fluxo contínuo

Em resumo, os resultados obtidos indicam que o Analisador de Cor é um instrumento preciso, exato e confiável para a medição da cor em diferentes níveis de concentração, apresentando um desempenho consistente e dentro dos parâmetros aceitos pelos padrões regulamentares.

RESULTADOS OBTIDOS

Ensaio de Fluxo contínuo

Em resumo, os resultados obtidos indicam que o Analisador de Cor é um instrumento preciso, exato e confiável para a medição da cor em diferentes tipos de amostras de água, apresentando um desempenho consistente e dentro dos parâmetros aceitos pelos padrões regulamentares.

Este método pode ser considerado validado para uso em análises de rotina de controle de qualidade de água.

RESULTADOS OBTIDOS

Analisadores de Cor e Turbidez

Além do Turbidímetro para água tratada, essa tecnologia também foi implementada em soluções para água bruta e filtrada.



Água Tratada



Água Bruta



Água Filtrada

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

- ✓ O desenvolvimento do Analisador de Cor para a medição contínua da cor da água apresentou resultados promissores.
- ✓ A precisão do método foi confirmada por um desvio padrão relativo de 4%, significativamente dentro do limite de aceitação do Inmetro (inferior a 7,3%).
- ✓ A comparação com o espectrofotômetro de bancada demonstrou coerência entre os métodos, reforçando a confiabilidade do Analisador de Cor.
- ✓ A exatidão do método, com recuperações variando entre 93,2% e 104,4%, também atende aos critérios esperados para matrizes complexas.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

- ✓ Portanto, o Analisador de Cor é uma ferramenta eficaz para o monitoramento contínuo da qualidade da água, proporcionando dados em tempo real que são essenciais para a detecção de contaminações.

- ✓ Além de contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 6, que visa garantir água potável e saneamento para todos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AUGEN. Augen Engenharia e Inovação. Disponível em https://augenengenharia.com/. Acesso em 01/06/2024.
2. BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. Standard methods for the examination of water and wastewater American Public Health Association, n. 23 rd, 2017.
3. BIERNATH, A. COSTA, SOUZA, C. Gráficos que mostram dimensão da tragédia das chuvas no Rio Grande do Sul. BBC. Disponível em https://www.bbc.com/portuguese/articles/c72p96eqkvxo. Acesso em: 07/05/2024.
4. BUGNOT, A. B., LYONS, M. B., SCANES, P., CLARK, G. F., FYFE, S. K., LEWIS, A., JOHNSTON, E. L. A novel framework for the use of remote sensing for monitoring catchments at continental scales. Journal of environmental management, v. 217, p. 939-950, 2018.
5. INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia. Orientação sobre Validação de Métodos Analíticos, Revisão 08. 2020. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/Cgcre/DOQ/DOQ-Cgcre-8_08.pdf>. Acesso em: 30/05/2024.
6. LIU, S., KIM, S., GLAMORE, W., TAMBURIC, B., JOHNSON, F. Remote sensing of water colour in small southeastern Australian waterbodies. Journal of Environmental Management, v. 352, p. 120096, 2024.
7. WANG, S., LI, J., ZHANG, W., CAO, C., ZHANG, F., SHEN, Q., ZHANG, B. A dataset of remote-sensed Forel-Ule Index for global inland waters during 2000–2018. Scientific Data, v. 8, p. 26, 2021.
8. WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2004). Guidelines for Drinking-water Quality (3rd ed.). Geneva: WHO.

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



OBRIGADA!

Ana Maria Munaretto Durigon
Camila Gonzales Cruz
Cezar Augusto da Rosa
Fabricio Butierres Santana

ana.d@augenengenharia.com

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp