GESTÃO DO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO DO CÁLCULO NA ANÁLISE DE SULFATOS PARA REDUÇÃO DO TEMPO DO MÉTODO ANALÍTICO

Wanderley Roberto de Souza [(1)]
Engenharia Química (Pitágoras), Técnico Químico (CEFET-MG), com especialização nas áreas MBA em Gestão de Projetos (IBMEC), Pós graduação em Gestão de Pessoas (Pitágoras) e Gestão da Qualidade (Pitágoras).

Endereço [(1)]**:** Rua Mar de Espanha, 525 – Santo Antônio – Belo Horizonte – Minas Gerais - CEP: 30.330-900 - País - Tel: +55 (31) 3250-2322 - e-mail: wanderobert@gmail.com.

RESUMO

O Laboratório Central da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) é responsável pelo monitoramento da qualidade da água potável, de mananciais e de águas residuais em âmbito local e estadual. Diante do aumento significativo do número de amostras analisadas, surgiu a necessidade de otimizar o tempo de execução dos métodos analíticos, especialmente na determinação de sulfatos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a gestão do processo de otimização do cálculo da análise de sulfatos por meio da automação das rotinas de cálculo e registro dos resultados. A metodologia adotada envolveu o planejamento do projeto, o desenvolvimento de um sistema automatizado em planilha eletrônica, a validação dos cálculos conforme exigências do INMETRO e o monitoramento dos resultados. Os resultados demonstraram uma redução de 15% no tempo total de análise para um conjunto de 20 amostras, além de ganhos em confiabilidade, rastreabilidade e segurança da informação. Conclui-se que a automação do processo contribuiu significativamente para o aumento da produtividade, otimização da mão de obra e fortalecimento do sistema de gestão da qualidade do laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de água, Automação laboratorial, Análise de sulfatos.

OBJETIVO

A finalidade desse trabalho é melhorar a gestão do processo analítico, assim como reduzir o tempo de execução das atividades e melhorar o sistema de gestão de armazenamento e avaliação dos dados de análise para o método de determinação de sulfato nas amostras tanto de Águas tratada quanto bruta.

METODOLOGIA UTILIZADA

O presente trabalho tem como objetivo o estudo e o desenvolvimento de um método para a determinação de sulfato, que utilizou como amostra água bruta. Para a realização desta análise, foi adotada uma metodologia estruturada em etapas, fundamentada em princípios de planejamento de projetos. Nesse contexto, foram identificados e definidos os requisitos do projeto, bem como realizados o levantamento de riscos, a caracterização das partes interessadas e a definição dos recursos necessários à sua execução.

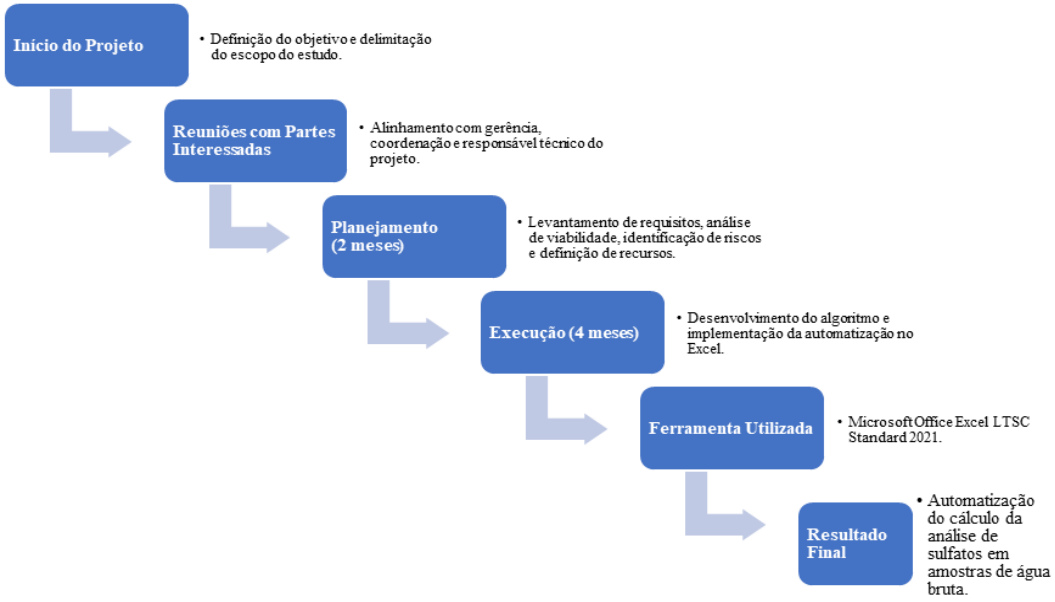
Para garantir o alinhamento entre os envolvidos, foram realizadas reuniões com as partes interessadas, compostas por representantes do laboratório, incluindo a Gerente do Laboratório Central e a Coordenadora do Setor de Análise de Água e Esgoto (STP e SME), além do responsável e autor do projeto, Wanderley Roberto de Souza.

Adicionalmente, foi elaborado um cronograma de execução do projeto, Figura 01, no qual se estabeleceram duas fases principais. A primeira fase, com duração de dois meses, contemplou o planejamento de como desenvolver o programa e a gestão dos dados, incluindo o levantamento detalhado dos requisitos para o desenvolvimento da solução, desde a definição do layout até a finalização do programa, a análise de viabilidade, a identificação dos riscos e o levantamento dos recursos necessários.

A segunda fase, com duração de quatro meses, correspondeu à etapa de execução do projeto, que envolveu o desenvolvimento do algoritmo computacional para automatização dos cálculos da análise de sulfato. Para esse fim, foi utilizada a ferramenta Microsoft Office Excel LTSC Standard 2021, considerada um dos recursos essenciais para a implementação da solução. Os detalhes referentes ao cronograma e aos custos associados à

automatização do cálculo da análise de sulfatos encontram-se devidamente apresentados nos documentos do projeto.

Figura 1 – Planejamento do projeto de Gestão do processo de otimização de análises de sulfatos.



Fonte: elaboração própria do cronograma em 2026.

Foi utilizado o método realizado pelo laboratório Sulfatos que está embasado na metodologia do Método: 4500-SO42- (SMEWW, 2026). O laboratório obteve a Certificação (ISO 17025, 2017) do Inmetro e desde então permanece constantemente revisando e melhorando a metodologia afim de garantir cada vez mais além da certificação, a qualidade no serviço prestado.

Considerando os custos envolvidos, foram alocados apenas dois profissionais para a execução do projeto: um planejador, responsável pela elaboração do planejamento e do cronograma, e um programador, encarregado do desenvolvimento do software destinado aos cálculos do método de análise, conforme ilustrado na Figura 01.

A partir dessa estrutura, verificou-se um custo total estimado de R$ 31.400,00 para a realização do projeto, conforme apresentado na Tabela 01.

Tabela 2 - Custo de Implantação

PROFISSIONAIS	VALOR	H/30	V/H	TEMPO DO PROJETO	HORAS TRABALHADAS	VALOR TOTAL TRABALHADO
PROGRAMADOR	R$ 3.500,00	R$ 116,67	R$ 14,58	1440	R$ 21.000,00	R$ 31.400,00
PLANEJADOR	R$ 5.200,00	R$ 173,33	R$ 21,67	480	R$ 10.400,00	

Fonte: elaboração própria do cronograma em 2023.

A partir de uma análise comparativa realizada em outros laboratórios da empresa, verificou-se que não há a utilização de um sistema estruturado para cálculo e registro automatizado do processo analisado, o que confere ao presente projeto um caráter inovador e diferenciado no âmbito da COPASA.

O controle e o monitoramento do projeto foram conduzidos com base em metodologia ágil, permitindo que, à medida que as etapas eram concluídas, fossem iniciados os processos de testes e verificação dos cálculos. Esse procedimento consistiu na comparação entre os resultados obtidos automaticamente pelo sistema e aqueles realizados manualmente, garantindo a confiabilidade dos dados. Ressalta-se que essa prática está em conformidade com os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, 2017; sendo exigida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) para a validação de sistemas e programas utilizados em análises laboratoriais.

O sistema desenvolvido é de uso exclusivo em ambiente computacional, sendo implementado por meio do software Microsoft Office LTSC Excel Standard 2021. Destaca-se que não há necessidade de utilização de ferramentas adicionais, uma vez que o próprio programa é capaz de executar todas as operações anteriormente realizadas manualmente, tais como cálculos por meio de formulas e registros de curvas analíticas.

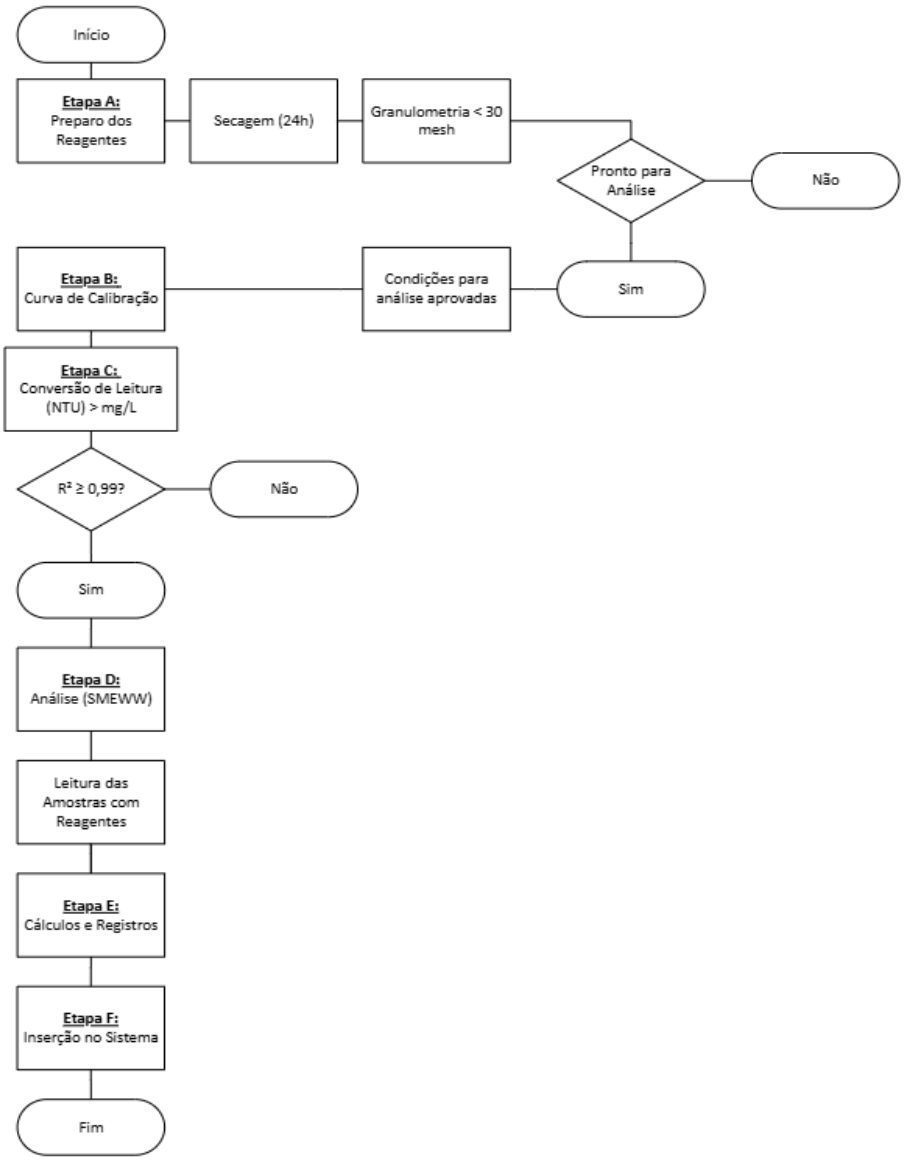
No contexto da gestão, o sistema permite o registro automático dos valores obtidos pelo equipamento, realizando os cálculos e armazenando os resultados em formulário padronizado da COPASA (FOR-POP-DTE-129-01 – Determinação de Sulfato – Método Turbidimétrico), que constitui o documento oficial de registro das análises. Além disso, o programa disponibiliza a memória de cálculo e a memória da curva analítica utilizada como base para os resultados.

Essas funcionalidades possibilitam a realização de consultas futuras, aumentando a segurança das informações no sistema de gestão da qualidade, bem como garantindo o controle, a rastreabilidade dos dados e o atendimento aos requisitos exigidos em processos de auditoria.

A metodologia adotada inicia-se com o preparo do reagente cloreto de bário (Etapa A), ver Figura 02, o qual é submetido à secagem em estufa por um período de 24 horas. Após essa etapa, realiza-se a seleção do material com granulometria adequada, inferior a 30 mesh, garantindo a padronização do reagente para uso na análise.

Na sequência, procede-se à elaboração da curva de calibração (Etapa B), por meio da leitura de soluções padrão em turbidímetro. Os resultados obtidos, expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (NTU), são posteriormente convertidos para concentração em mg/L. Em seguida, realiza-se o cálculo do coeficiente de determinação (R^2) da curva analítica, cujo valor deve ser maior ou igual a 0,99, assegurando a confiabilidade do método. Os dados são então registrados em formulário físico de controle (Etapa C).

Figura 2 – Fluxograma de processo.



Fonte: elaboração própria do cronograma em 2023.

Posteriormente, é realizada a etapa de leitura das amostras, do branco e das matrizes (Etapa D), seguindo a marcha analítica descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), método 4500-SO_4^{2-}. O procedimento consiste na adição de 100 mL da amostra, 20 mL do tampão A e cloreto de bário, seguida de agitação por 60 segundos, sendo então efetuada a leitura no equipamento.
Após a execução da marcha analítica, realiza-se o registro das leituras obtidas no turbidímetro (Etapa E), em formulário específico de controle, o qual contempla a curva analítica e as soluções utilizadas no processo. Nessa etapa, os cálculos são efetuados manualmente, com o auxílio de calculadora, sendo os resultados registrados individualmente para cada amostra.
Por fim, os resultados obtidos e devidamente registrados são inseridos no sistema interno de banco de dados da empresa (Etapa F), garantindo o armazenamento das informações e possibilitando sua rastreabilidade.

RESULTADOS OBTIDOS

Durante a realização das análises, foram efetuadas medições de tempo para cada etapa das atividades inerentes à metodologia de determinação de sulfato, conforme apresentado na Tabela 02. As avaliações contemplaram duas abordagens distintas: a metodologia analógica e a metodologia digital.
Na abordagem analógica, os procedimentos de conversão dos resultados foram realizados manualmente, utilizando-se papel, calculadora e lápis, sendo posteriormente registrados em documentos físicos de registro de análises. Por sua vez, na metodologia digital, todo o processo de cálculo e registro das informações foi conduzido por meio de um sistema informatizado desenvolvido especificamente para a conversão dos resultados obtidos e armazenamento dos dados analíticos.
O sistema utilizado possibilita o registro integral das análises realizadas, promovendo maior rastreabilidade, padronização e confiabilidade das informações, além de contribuir para a otimização dos processos e redução de possíveis erros inerentes às atividades manuais.

Tabela 2 - Custo de Implantação

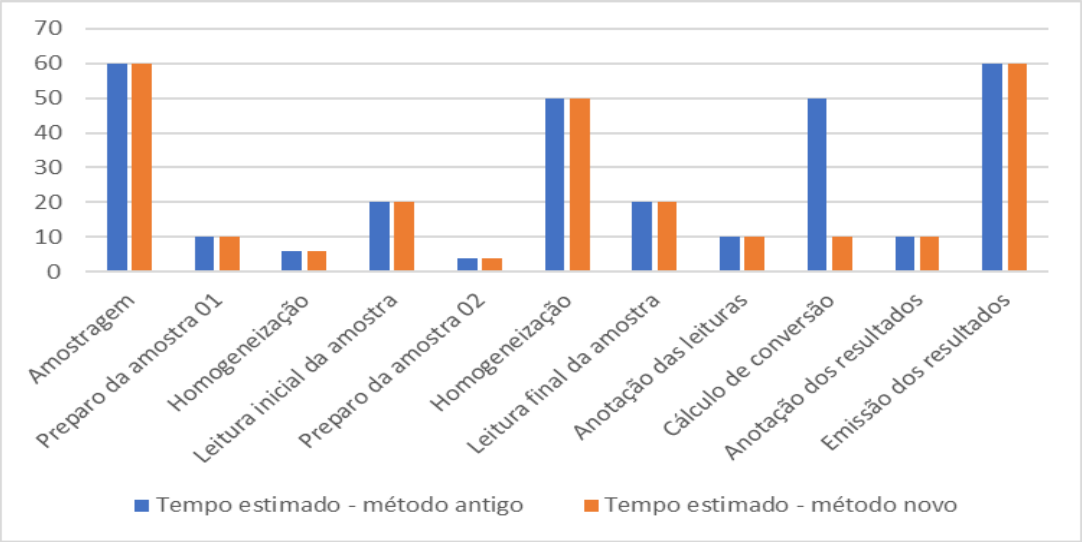
Tempo estimado - 20 amostras

	Método Analógico	Método Digital
Amostragem	30	30
Preparo da amostra 01	5	5
Homogeneização	3	3
Leitura inicial da amostra	10	10
Preparo da amostra 02	2	2
Homogeneização	25	25
Leitura final da amostra	10	10
Anotação das leituras	5	5
Cálculo de conversão	20	5
Anotação dos resultados	5	5
Emissão dos resultados	35	35
Tempo total de Análise	150	135

Fonte: elaboração própria do cronograma em 2023.

Dessa forma, conforme apresentado na Tabela 02, procedeu-se à cronometragem do tempo despendido em cada etapa do processo para conjuntos de 20 e 40 amostras. Os tempos obtidos para as metodologias analógica e digital mostraram-se semelhantes em praticamente todas as fases do procedimento.
Entretanto, observou-se diferença significativa na etapa de cálculo de conversão, a qual, na descrição metodológica, corresponde às etapas C e E. Tal distinção pode ser visualizada no Gráfico 01, evidenciando a influência da abordagem utilizada no desempenho dessa fase específica do processo.

Gráfico 01 - Comparativo entre sistema de cálculo antigo (Azul) e novo (Laranja) para 20 amostras



Fonte: elaboração própria do Comparativo entre Tempo estimado para 20 amostras em 2023.

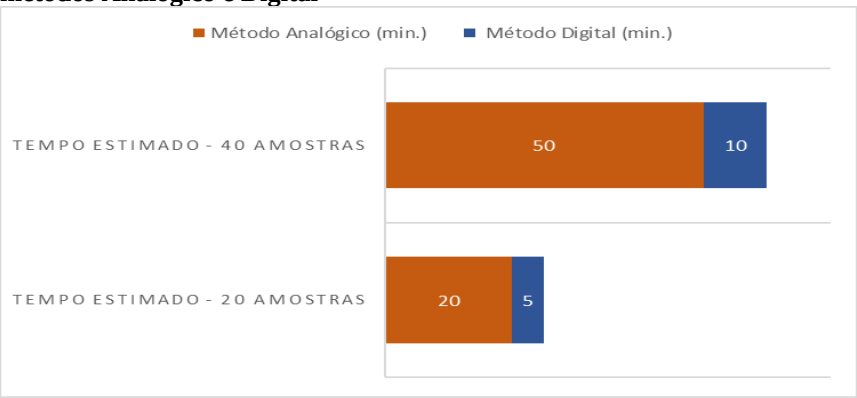
ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a implementação da solução tecnológica proposta, foi possível obter significativa otimização no tempo de execução e na emissão dos resultados das análises. Ao comparar os tempos despendidos para o processamento de 20 e 40 amostras, verificou-se uma diferença média de 0,75 minuto por amostra, correspondente a aproximadamente 45 segundos.

Para um conjunto de 20 amostras, observou-se uma economia total de 15 minutos no tempo de execução. De forma semelhante, para o processamento de 40 amostras, a economia de tempo foi de 40 minutos. Esses resultados evidenciam o ganho de eficiência proporcionado pela metodologia digital em relação à abordagem analógica.

Conforme ilustrado no Gráfico 02, essa redução no tempo corresponde a aproximadamente 66,67% de uma hora de trabalho (hora-homem), demonstrando impacto relevante na produtividade operacional e na otimização dos recursos.

Gráfico 2 – Comparativo do tempo gasto entre a análise de sulfato dos métodos Analógico e Digital

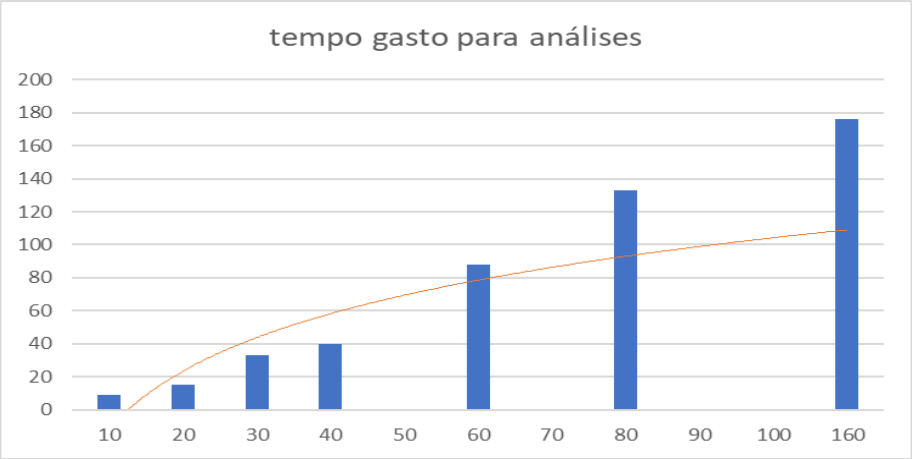


Fonte: elaboração própria do Comparativo entre Tempo estimado para 20 e 40 amostras em 2023.

A análise da economia de tempo na etapa de cálculo de conversão, apresentada no Gráfico 02, evidencia ganhos significativos com a adoção da metodologia digital. Para o processamento de 20 amostras, a metodologia analógica demandou aproximadamente 20 minutos, enquanto a utilização do sistema informatizado reduziu esse tempo para cerca de 5 minutos. Tal resultado representa uma redução de

aproximadamente 75% no tempo necessário para a execução dessa etapa, correspondente às etapas C e E da metodologia.
De modo análogo, ao se considerar o processamento de 40 amostras, verificou-se que a metodologia tradicional exigiu 50 minutos para a conclusão da referida etapa, ao passo que o método digital demandou apenas 10 minutos. Nesse cenário, observa-se uma redução de 80% no tempo de execução, evidenciando a superioridade da solução tecnológica na otimização das atividades de cálculo e conversão dos dados.
Adicionalmente, foi realizada uma estimativa de ampliação do quantitativo de amostras analisadas, conforme ilustrado no Gráfico 03. Observa-se uma tendência de crescimento do tempo de processamento à medida que o número de amostras aumenta. Contudo, ao se traçar a linha de tendência, identifica-se um comportamento de estabilização no crescimento, caracterizando um platô estatístico a partir de determinado volume de amostras.
Esse fenômeno pode ser explicado pela limitação da capacidade humana no processamento físico das amostras, conforme discutido por Nassif (2023). A partir de aproximadamente 160 amostras, observa-se o início desse processo de estagnação, o que torna operacionalmente inviável a realização de grandes volumes em um único dia.
Cabe destacar que, na prática, o método apresenta uma limitação recomendada de até 60 amostras diárias, de modo a não comprometer a jornada de trabalho de 8 horas e os intervalos necessários para descanso do profissional, garantindo, assim, a qualidade das análises e a segurança operacional.

Gráfico 3 –Estimativa de ampliação de análises do quantitativo de amostras tempo gasto entre a análise de sulfato dos métodos Analógico e Digital



Fonte: elaboração própria do Comparativo entre Tempo estimado para 20 e 40 amostras em 2023.

Considerando o tempo médio despendido para a execução de uma batelada de 20 amostras utilizando a metodologia digital, verifica-se um total de 2 horas e 15 minutos. Em comparação, a metodologia analógica demanda aproximadamente 2 horas e 30 minutos para a mesma quantidade de amostras. Dessa forma, observa-se uma redução de 15 minutos por batelada com a adoção do sistema digital.
Sob a perspectiva econômica, considerando que o custo operacional para a análise diária de 20 amostras (uma batelada) é de R$ 26,04, a economia de 15 minutos representa uma redução proporcional no custo do processo, estimada em aproximadamente R$ 2,60 por batelada. Esse valor evidencia o impacto direto da otimização do tempo na redução dos custos operacionais.
Ao se realizar a extrapolação para um período anual, considerando 365 dias de operação, a economia acumulada alcança o montante de R$ 4.752,61. Tal resultado demonstra que a implementação da solução tecnológica não apenas contribui para o aumento da eficiência operacional, mas também proporciona um retorno financeiro relevante para a organização, equivalente a aproximadamente dois meses de remuneração salarial de um colaborador.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

A implementação da nova metodologia de gestão e otimização do processo de cálculo na análise de sulfatos demonstrou-se eficaz na redução do tempo de execução do método analítico, possibilitando a reestruturação das etapas operacionais e a melhoria do fluxo de trabalho no laboratório. Além disso, a adoção da solução

tecnológica encontra respaldo nas diretrizes da norma ABNT NBR ISO 9001:2015, especialmente no que se refere à segurança no tratamento, armazenamento e rastreabilidade dos dados.

Nesse contexto, a obtenção de resultados confiáveis está diretamente relacionada à aplicação de princípios de melhoria contínua, fundamentados no ciclo PDCA (Planejar, Executar, Controlar e Agir). A incorporação dessa abordagem contribui para o aperfeiçoamento sistemático dos processos laboratoriais, promovendo maior padronização, controle operacional e qualidade analítica.

Os resultados obtidos indicam um desempenho satisfatório da metodologia proposta, evidenciado pela redução significativa do tempo de processamento das informações. Tal otimização possibilita a melhor alocação da mão de obra, permitindo que os profissionais desempenhem outras atividades estratégicas dentro do laboratório, o que, consequentemente, contribui para o aumento da produtividade e da eficiência organizacional.

Dessa forma, recomenda-se a consolidação e expansão do uso da metodologia digital nos processos analíticos, bem como a continuidade de ações voltadas à melhoria contínua, capacitação de pessoal e aprimoramento dos sistemas de gestão de dados, visando garantir ganhos sustentáveis de desempenho e qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n° 236, de 22 de dezembro de 1994*. Dispõe sobre diretrizes metrológicas. Brasília, 1994.

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. Washington, DC, 2017.

- COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). Documentos internos: processos laboratoriais. Belo Horizonte: COPASA, [s.d.].

- NASSIF, André. *Desenvolvimento e estagnação: o debate entre desenvolvimentistas e liberais clássicos*. São Paulo: Editora Contracorrente, 2023.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO/IEC 17025:2017 – *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 9001:2015 – *Sistemas de gestão da qualidade: requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.