REESTRUTURAÇÃO DO INDICADOR DE PERFORMANCE DO TRATAMENTO - IPTRAT BASEADO NOS PRINCÍPIOS DE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS - OEE

Bruno Fernandes de Holanda[(1)]
Técnico em Sistemas de Saneamento - Mecânica (Sabesp), com mais de 12 anos de experiência no ramo de mecânica industrial, incluindo manutenção, projetos e engenharia. Graduado em Engenharia Mecânica (USJT), especialista em Gestão de Manutenção na Indústria 4.0 (SENAI), especializado em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico (UMC), CAMA-Certified Asset Management Assessor, atualmente cursando mestrado em Eng. Mecânica de Projetos e Fabricação no PPGEM (Poli-USP).
Alisson Santos Silva[(2)]
Engenheiro Mecânico (USJT) especialista em Sistema de Gestão Integrada (PUC Minas) e certificação Green Belt em Lean Six Sigma, atualmente mestrando em Engenharia Mecânica com ênfase em Energia (ISEP), com mais de 10 anos de experiência profissional, com foco em qualidade e eficiência operacional.

Endereço[(1)]**:** Rua Dorval José Svizzero, 20 – Jd. Lapenna / São Miguel Paulista - São Paulo - SP - CEP: 08071-163 - Brasil - Tel: +55 (11) 98332-3804 - e-mail: fernandes.holanda@hotmail.com

RESUMO

No ano de 2018, devido à necessidade de uma ferramenta de gestão que avaliasse a Performance das Estações de Tratamento de Esgoto que fosse capaz de subsidiar a tomada de decisão para priorização da gestão de ativos, dos objetos e das contratações, foi desenvolvido um indicador global denominado *IPTrat – Índice de Performance do Tratamento*.

O projeto se deu pelo diagnóstico do processo, avaliando fatores considerados críticos e pontuando-os em notas de 0 a 100% de atendimento, e posteriormente ponderando pesos a cada etapa do processo de modo a se obter um valor numérico que indica a performance das estações para definição de planos de ação.

Embora tenha sido implantado com êxito, a aplicação do IPTrat acabou por se tornar uma avaliação ineficaz, visto que não possui critérios claros que sustentem os pesos de ponderações, tornando-o assim, um indicador tendencioso e sem possibilidade de comparação entre processos e unidades distintas. Além disso, por forcejar gerir todas as etapas do tratamento sem a adequada segmentação dos fatores avaliados, é um modelo de gerenciamento complexo e de difícil compreensão de terceiros, o que dificulta auditorias de conformidade e a análise objetiva do processo.

Portanto, uma vez que as evidências sugerem que o uso do modelo de gestão atual se mostra inadequado ao planejamento assertivo da organização, o presente trabalho visa propor um modelo de avaliação de performance baseado nos conceitos de *OEE - Overall Equipment Effectiveness*, remodelando os mecanismos de avaliação do IPTrat através de uma metodologia puramente científico-matemática.

PALAVRAS-CHAVE: Performance, Tratamento de Esgotos, Indicadores.

1-INTRODUÇÃO

Em virtude da publicação da Lei Federal n° 14.026 de 15 de julho de 2020, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico- ANA, órgão que recebeu a atribuição de editar as normas de regulação dos serviços públicos de saneamento básico (BRASIL, 2020), ainda não publicou um regimento normativo para análise dos indicadores de qualidade, eficiência e eficácia para o sistema de tratamento. Diante desta carência, foi implantado no ciclo 2018/19, o Índice de Performance do Tratamento (IPTrat) como ferramenta de gestão para avaliação da performance das ETE's (Estações de Tratamento de Esgotos), para fundamentar o processo decisório de seleção de iniciativas, parceiros e opções estratégicas de investimento dos recursos de forma mais assertiva.

Uma vez que no processo de uma ETE, não é possível relacionar efetivamente um produto a ser produzido e sua quantidade, o indicador apresentado foi desenvolvido por uma equipe multidisciplinar baseando-se no diagnóstico do processo, considerando os seguintes fatores críticos, sendo eles: Disponibilidade de equipamentos, Automação, Controle de processos, Qualidade e Eficiência. Estes fatores são avaliados em notas que podem variar de 0 a 100%. A nota de cada item é ponderada através de pesos atribuídos de acordo com a criticidade de cada processo.

Através das médias ponderadas por estes pesos, é calculada a regularidade operacional em cada etapa. E finalmente, após a avaliação também ponderada de todas as etapas obtém-se o índice de performance para a ETE a ser avaliada.

A ferramenta de gestão implementada apresenta um mapeamento pouco assertivo do processo, já que são avaliados subjetivamente os fatores críticos mediante a atribuição de pesos fundamentados na experiência operacional dos membros de cada equipe em cada unidade que realiza as avaliações, camuflando assim, indicadores que podem estar impactando na performance efetiva das estações. Ademais, o atual modelo de gerenciamento se mostra desnecessariamente complexo e dificulta a análise objetiva do processo, já que abrange todo o processo de tratamento sem segmentar os fatores avaliados e traz pesos que podem ser atribuídos subjetivamente por conveniência.

Diante disso, "cabe à liderança, a habilidade de selecionar a estratégia mais apropriada" (NOHRIA, JOYCE, ROBERSON, 2003) para comparar os resultados reais com aqueles esperados. Portanto, a reestruturação dos mecanismos de gerenciamento através da aplicação de uma metodologia científica, contribuirá para contextualizar e definir as metas, investimentos e a desburocratização do indicador de performance, fornecendo assim, a estabilidade necessária para que a organização implemente e mantenha suas vantagens competitivas (ANDERSEN, 2004).

Em virtude da subjetividade de diagnóstico do modelo atual do IPTrat, é necessário a implementação de uma metodologia mais precisa e objetiva para a análise de performance das Estações de Tratamento de Esgoto. Nesta perspectiva, é proposto a reformulação do IPTrat existente, mediante o delineamento de um modelo matemático que melhor se ajusta ao OEE (Overall Equipment Effectiveness).

2-OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral propor a reformulação do indicador IPTrat existente, mediante o delineamento de um modelo matemático baseado nos conceitos do indicador Eficiência Global dos Equipamentos – OEE, já difundido mundialmente e validado para aplicação, com as devidas adaptações. À vista disso, torna-se necessário o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar e mapear o processo de tratamento de esgoto;
- Delinear o indicador de eficiência global e sua metodologia de cálculo;
- Relacionar e segmentar os indicadores de tratamento, disponibilidade e qualidade aplicados ao processo;
- Otimizar o modelamento matemático do OEE à realidade operacional;
- Reestruturar o dashboard de gerenciamento do indicador IPTrat.

3-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, são descritos o processo de tratamento, fundamentos de OEE e a metodologia atual do IPTrat para contextualização.

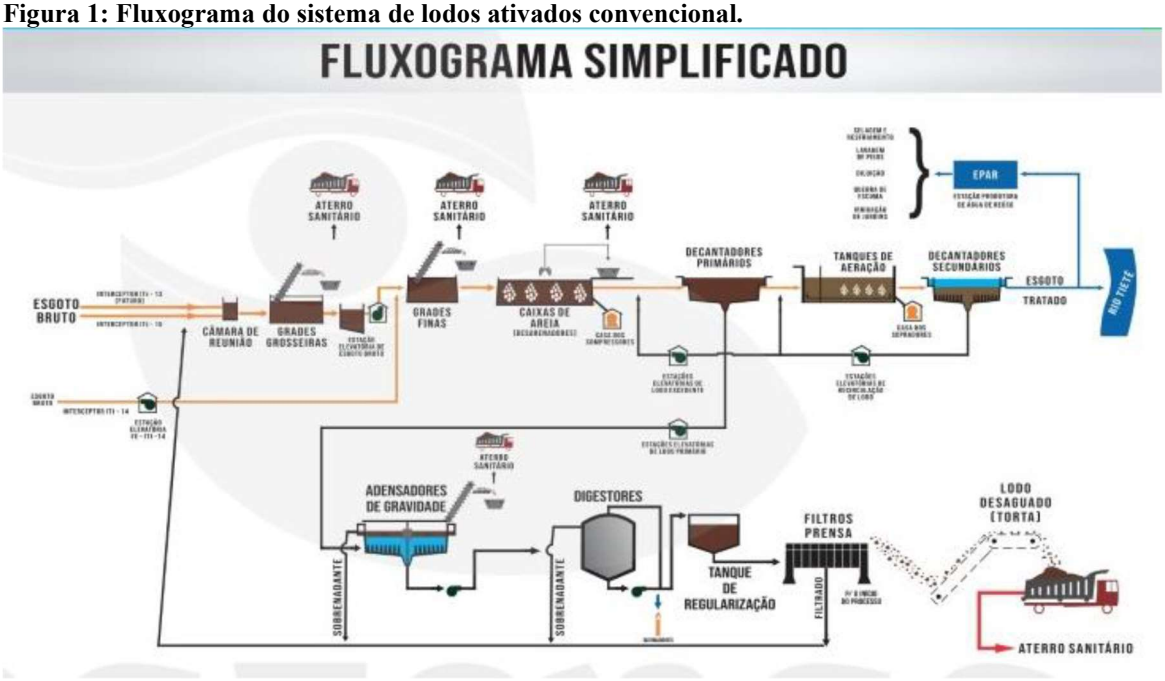
3.1-Processo de Tratamento de Esgotos

As ETE's reproduzem, através de processos físicos, químicos e/ou biológicos, em curto período, condições necessárias e suficientes, normalmente encontradas na natureza (em corpos hídricos receptores tais como rios, lagos e banhados), para promover a decomposição da matéria orgânica presente nos esgotos. Ao final do processo, tanto a fase líquida quanto a sólida devem estar aptas, segundo legislação ambiental impostos pelo padrão de saúde da Resolução CONAMA nº 357/2005.

A Sabesp adota diferentes processos para tratamento dos esgotos, variando em função do tipo e situação do efluente. Assim, o esgoto bruto pode ser submetido a diferentes níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário. No Brasil, a maioria das ETE's realiza o tratamento até o nível secundário, sendo raros os casos em que é adotado o terciário. (ReCESA, 2013).

Predominantemente, as ETE's operadas pela Sabesp utilizam o processo de lodo ativado:

Figura 1: Fluxograma do sistema de lodos ativados convencional.



Fonte: Sabesp (2021)

A seguir, são sintetizados os processos de tratamento:

➢ *Tratamento Preliminar (Grades, Caixa de Areia, Elevação, Medição de Vazão)*

Os sólidos grosseiros são removidos do fluxo líquido através de sistemas de gradeamento. Partículas abrasivas, predominantemente inorgânicas, como areia e terra, são removidas em unidades denominadas desarenadores. Pelo fato de fluir por gravidade entre os processos, nesta etapa o esgoto é bombeado à cota mais alta da ETE.

➢ *Tratamento Primário (Decantador Primário)*

Sedimentação dos sólidos em suspensão de maior densidade. Simultaneamente, as partículas de menor densidade, como graxas e óleos, flutuam para a superfície. Estas parcelas constituem o lodo primário, que é removido para o adensamento.

➢ *Tratamento Secundário (Tanque de Aeração, Recirculação e Decantador Secundário)*

O tanque de aeração fornece oxigênio necessário para reações biológicas que consomem a matéria orgânica do esgoto, enquanto o Decantador secundário sedimenta o lodo formado nestas reações. A elevatória de recirculação retroalimenta o Tanque de Aeração com parte do fluxo do Decantador Secundário.

➢ *Adensamento*

Ocorre a sedimentação do lodo proveniente dos tratamentos primário e secundário, reduzindo assim, o volume e umidade do lodo que seguirá ao processo de digestão.

➢ *Digestão*

Trata-se de um processo de fermentação anaeróbia do lodo, desenvolvido por uma sequência de ações realizadas por vários tipos de bactérias responsáveis pela remoção de matéria orgânica.

➢ *Desidratação*

Operação destinada a reduzir o volume do lodo através da retirada do excesso de umidade. Usualmente, consiste de regularização química do lodo seguida desidratação mecânica em Filtros Prensa.

3.2-Índice de Performance de Tratamento (IPTrat)

Conforme Sousa (2019), na perspectiva de *Processos*, no Objetivo Estratégico 5 - "*Operar Sistemas com Eficácia"*, foi estabelecida uma macro ação de avaliação da Performance do tratamento de esgoto com objetivo principal de melhorar a gestão dos processos, melhorar a decisão das necessidades e contratações, servir de entrada para a área de gestão de ativos e permitir a alocação de recursos de forma assertiva.

A metodologia para avaliação do diagnóstico é composta por uma planilha composta de todas as etapas do tratamento, onde são avaliados os fatores críticos e atribuído pesos para os mesmos somando 100%. Após a avaliação das etapas, é avaliada a regularidade da fase líquida e da fase sólida obtendo no máximo 100% cada fase. O IPTRAT é a soma da fase líquida (60%) e da fase sólida (40%).

O diagnóstico de performance considera questões relacionadas a operação e manutenção do sistema. Os indicadores estratégicos (Vazão Afluente (VAE), Produção de Lodo (PL), Eficiência Energética (IEE), Disponibilidade (IDE), Carga de DBO Removida (CDBO), Automação, etc) são relacionados entre si e ponderados por pesos. Assim, são definidas as notas de cada etapa, e posteriormente, de cada fase.

Figura 2: Planilha Diagnóstica Performance do Tratamento



Estação Elevatória Final				
Mês	Vazão L/s (1,5 a 2,0 m³/s) (meta 2018 e 2019 L/s)	Automação	Disponibilidade de Equipamento (bomba, motor, inversor, CLP)	Regularidade Operacional
Peso	30%	10%	60%	100%
jan/19	26%	10%	48%	84%
fev/19	30%	10%	48%	88%
mar/19	30%	10%	48%	88%
abr/19	30%	10%	48%	88%
mai/19	30%	10%	45%	85%
jun/19	29%	10%	36%	75%

Fonte: Sousa (2018)

Tabela 1: Distribuição de pesos por parâmetros entre as 3 unidades – Fase Líquida

Processo	Parâmetro	ABC	SMP	Suz
Elevatórias	Automação	18%	15%	20%
	Cota (tempo de atendimento)	15%	23%	13%
	Disponibilidade %	55%	50%	72%
	Vazão	8%	8%	
EEE Final	Automação	20%	30%	10%
	Cota (tempo de atendimento)	20%	20%	10%
	Disponibilidade %	40%	40%	60%
	Vazão	10%	10%	20%
Desarenação	Automação	0%	15%	5%
	Disponibilidade %	60%	45%	55%
	Relação SV/St	10%	10%	5%
	Remoção de areia	30%	30%	35%
Decantador Primário	Automação	5%	10%	10%
	Concentração de lodo ST	5%	5%	5%
	Concentração SS Efluente	10%	5%	5%
	Disponibilidade %	50%	55%	55%
	Manto de Lodo	5%	5%	5%
	Remoção de DBO	10%	5%	10%
	Remoção de SST	15%	15%	10%
Tanque de Aeração	Automação	10%	20%	5%
	Concetração de Lodo SST	10%	5%	5%
	Disponibilidade %	60%	55%	65%
	Eficiência Energética	10%	10%	15%
	Oxigênio Dissolvido	10%	10%	10%
Decantador Secundário	Automação	10%	10%	2%
	Concentração de DBO mg/L	15%	15%	15%
	Concentração SS Efluente	18%	15%	15%
	Disponibilidade %	50%	50%	58%
	Manto de Lodo	0%	5%	5%
	Taxa de Recirculação de Lodo	5%	5%	5%
EPAR	Turbidez		20%	
	Concentração de CRT		30%	
	Disponibilidade %		40%	
	Disponibilidade de reúso		10%	
Aquapolo	Turbidez	15%		
	Alumínio	20%		
	Amônia	35%		
	Concentração SST	20%		
	DBO	0%		
	Disponibilidade %	10%		

Fonte (Autor, 2022)

Tabela 2: Distribuição de pesos por parâmetros entre as 3 unidades – Fase Sólida

Processo	Parâmetro	ABC	SMP	Suz
Adensadores	Automação	10%	10%	
	Captura de Sólidos	10%	15%	
	Concentração de ST	10%	5%	
	Disponibilidade %	70%	70%	
Condicionamento Químico	Automação	20%	20%	10%
	Concentração da Solução de Cal	10%		4%
	Concentração da Solução de Polímero		10%	
	CST	5%	5%	8%
	Disponibilidade %	40%	30%	30%
	Dosagem de Cloreto	10%	20%	10%
	Dosagem de Cal	15%		10%
	Dosagem de Polímero		15%	
	pH lodo condicionado	5%		8%
Digestores	Acidez	5%	5%	5%
	Alcalinidade	5%	5%	5%
	Automação	20%	10%	5%
	Disponibilidade %	55%	50%	50%
	Produção de Biogás	10%	10%	5%
	Remoção de Voláteis	5%	20%	30%
DML	Automação	15%	10%	30%
	Disponibilidade %	50%	50%	55%
	Produção de Lodo	10%	20%	5%
	Produtividade	10%	10%	5%
	St da Torta	10%	10%	5%

Fonte (Autor, 2022)

Tabela 3: Distribuição de pesos por processos e fases entre as 3 unidades

Fase	ABC	ABC	São Miguel	Suzano
Líquida 60%	EEE Final	15%	15%	10%
	Gradeamento	5%	10%	10%
	Desarenação	10%	10%	15%
	Decantador Primário	20%	10%	15%
	Tanque de Aeração	20%	30%	40%
	Decantador Secundário	20%	10%	10%
	EPAR		5%	
	Selagem	5%	10%	
	Aquapolo	5%		
Sólida 40%	Gradeamento de lodo	5%	5%	10%
	Adensadores	10%	15%	
	Flotadores	10%		
	Digestores	30%	30%	30%
	Condicionamento Químico	30%	20%	30%
	DML	20%	30%	30%

Fonte (Autor, 2022)

3.3-Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Ao gerenciar o sistema organizacional, sabe-se que os indicadores são ferramentas essenciais para o processo de tomada de decisão. À vista disso, a fim ponderar os impactos da estratégia de forma assertiva, a aplicação correta do modelamento matemático do parâmetro que mensura o resultado, deve garantir que as deliberações sejam marcadas pela consistência e ausência de ambiguidades.

Assim, com o objetivo de traduzir o comportamento dos componentes do processo, o Overall Equipment Effectiveness - OEE permite uma análise das reais condições da utilização dos recursos de manutenção e operação. Uma vez que as análises das condições ocorrem a partir da identificação das perdas envolvendo índices de disponibilidade de equipamentos, performance e qualidade, o OEE não apenas fornece um indicador de desempenho global, como também indica as perdas envolvidas em seu resultado, expondo assim, as áreas de melhorias do processo (JONSSON, LESSHAMMAR, 1999).

Formulado pelo produto dos três indicadores percentuais, o OEE considera o tempo útil que o equipamento tem para funcionar, sua eficiência demonstrada durante o funcionamento e a qualidade do produto obtida pelo processo em que o equipamento está inserido, podendo ser facilmente sintetizada matematicamente através da figura a seguir:

Figura 3: Metodologia de cálculo do indicador OEE



Fonte: Adaptado de Hansen (2006)

Embora 85% seja um valor mínimo definido para o nível de classe mundial, Hansen (2006) considera o fator de desperdício de capacidade produtiva como bom para OEE entre 75% e 85%, bem como muito elevado quando o índice é inferior a 65%. Desta forma, embora seu conceito tenha sido desenvolvido inicialmente para avaliar a performance de equipamentos, sua metodologia pode ser estendida a células ou linhas inteiras de produção para a correta configuração do sistema de monitoramento, desde que analisado cada subsistema que o compõem.

METODOLOGIA

Foi prototipada a reformulação do IPTrat aplicada à 3 ETE's, sendo estas ABC, São Miguel e Suzano, apoiado em uma metodologia fundamentada no indicador de efetividade global de equipamentos – OEE, através das etapas propostas nos objetivos do presente trabalho.

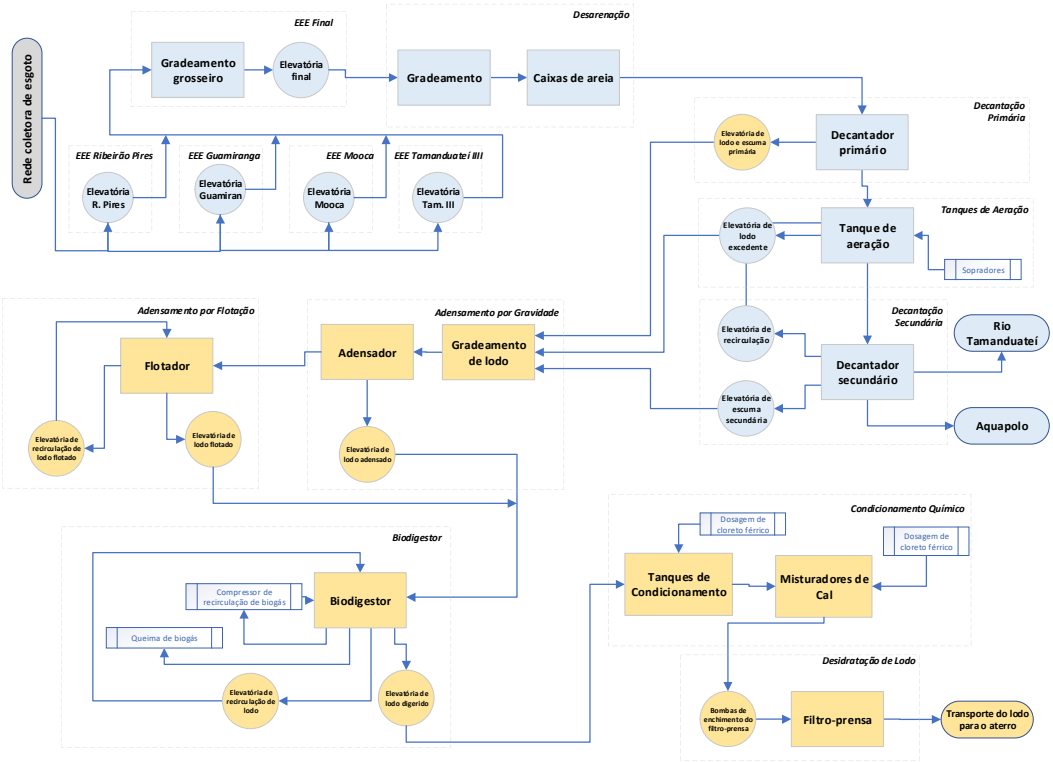
➢ *Mapeamento do Processo*

A avaliação da performance das estações de tratamento de esgoto está diretamente vinculada à busca da eficiência operacional. Assim, o mapeamento do processo permite uma visão mais clara do sistema, facilitando assim, a identificação das falhas e melhorias necessárias.

O processo é composto por duas fases: líquida, representada na cor azul, e sólida, na cor laranja, após o processo de degradação da matéria orgânica nos tanques de aeração e do processo de sedimentação que ocorre nos decantadores secundários, o efluente descontaminado é devolvido ao meio ambiente.

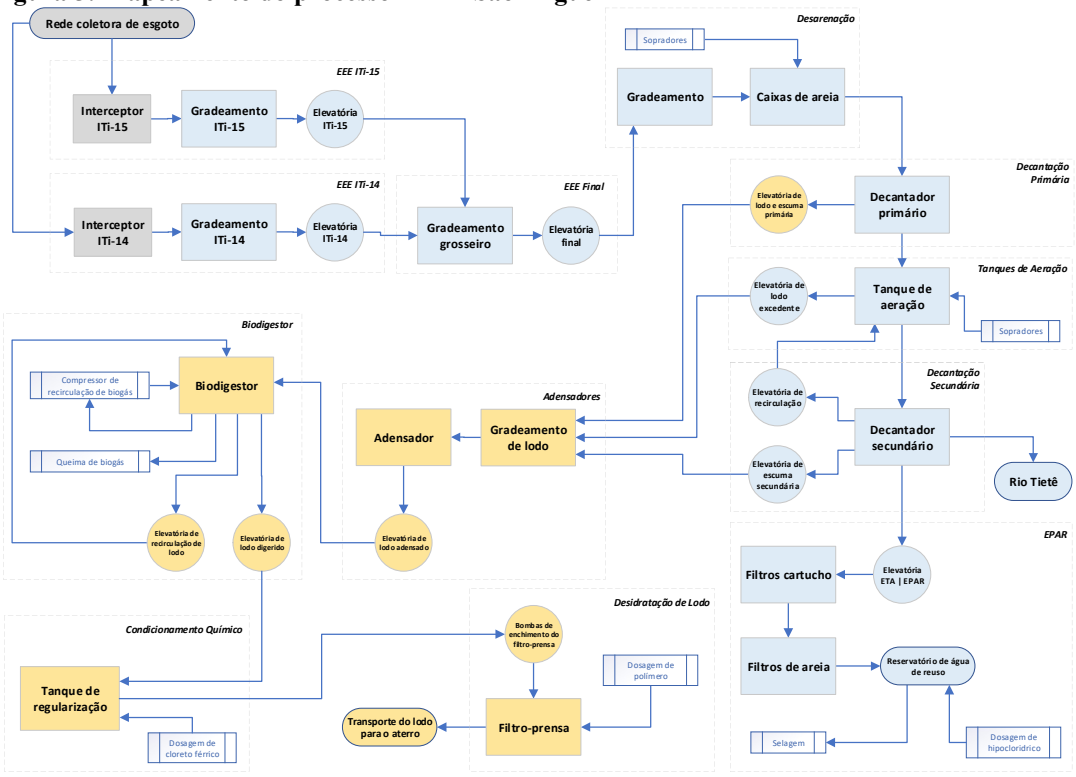
Todas as ETE's são alimentadas pela rede coletora de esgoto e Estações Elevatórias de Esgoto (EEE's) esternas, que descarregam a vazão coletada no início do processo.

Figura 4: Mapeamento do processo - ETE ABC



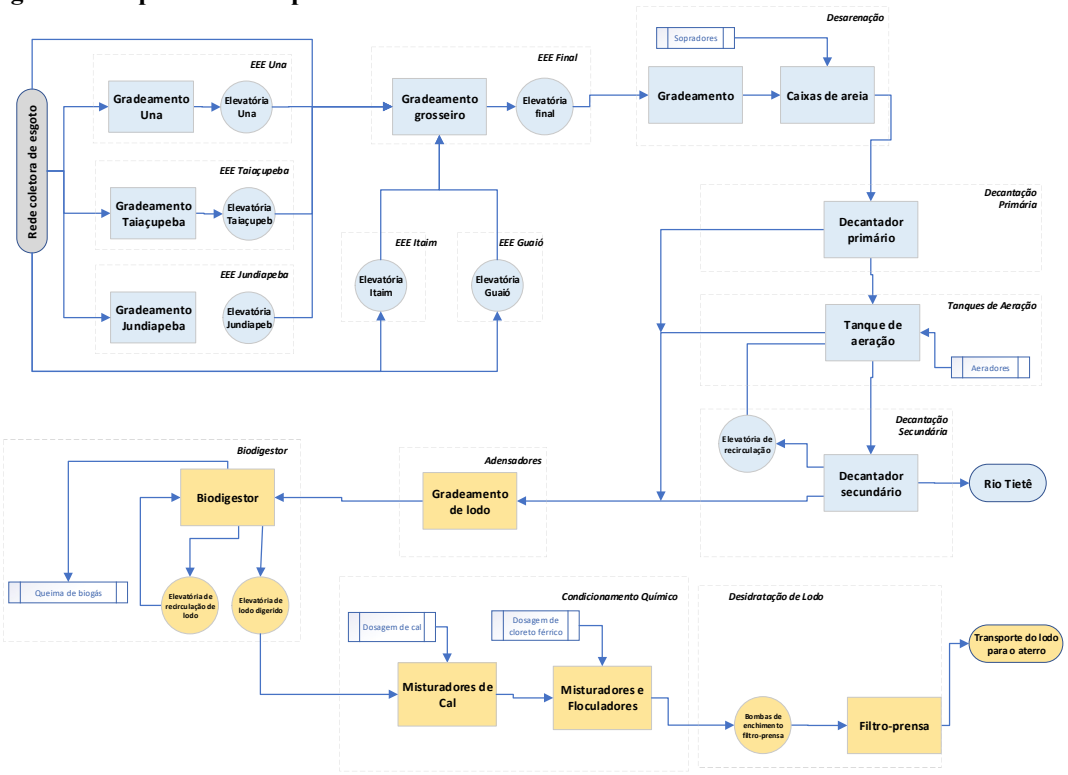
Fonte: Autor (2022)

Figura 5: Mapeamento do processo - ETE São Miguel



Fonte: Autor (2022)

Figura 6: Mapeamento do processo - ETE Suzano



Fonte: Autor (2022)

➢ *Delineamento e Segmentação de Cálculo*

Ainda que o projeto da instalação especifique sua capacidade nominal, a complexidade inerente do processo traz consigo incertezas acerca da capacidade de caracterização dos parâmetros avaliados no cálculo do OEE. Assim, fazendo uso dos sistemas de Dados de Relatório - SDR; Systems, Applications and Products in Data Processing - SAP e Sistema de Automação - SCOA já consolidados na organização, bem como as diretrizes normativas CONAMA nº 430/2011, o Decreto nº 8.468/1976 e a NBR 12209, cada indicador pré-existente na rotina de tratamento foi analisado e classificado individualmente em índices de Disponibilidade, Tratamento e Qualidade (dados analíticos e requisitos legais).

Tabela 4: Classificação dos Pilares e Parâmetros.

Pilar	Parâmetro	Unidade
Qualidade	Turbidez	NTU
Qualidade	Acidez	mg/L
Qualidade	Alcalinidade	mg/L
Qualidade	Alumínio	mg/L
Qualidade	Amônia	mg/L
Qualidade	Automação	Atendimento %
Qualidade	Concentração da Solução de Cal	%
Qualidade	Concentração da Solução de Polímero	%
Qualidade	Concentração de CRT	mg/L
Qualidade	Concentração de DBO mg/L	mg/L
Qualidade	Concentração de lodo ST	%
Qualidade	Concentração SS Efluente	mL/L
Qualidade	Concentração SST	mg/L
Qualidade	CST	%
Qualidade	Eficiência Energética	kW/m³ ou kWh/kgDBO/dia
Qualidade	Manto de Lodo	m
Qualidade	pH Lodo condicionado	pH
Qualidade	Relação SV/St	%
Qualidade	St da Torta	%

Pilar	Parâmetro	Unidade
Tratamento	Captura de Sólidos	%
Tratamento	Cota (tempo de atendimento)	h
Tratamento	Disponibilidade de reúso	%
Tratamento	Dosagem de Cloreto	kg/ton
Tratamento	Dosagem de Cal	kg/ton
Tratamento	Dosagem de Polímero	kg/ton
Tratamento	Limpeza de Grades	Atendimento Diário
Tratamento	Oxigênio Dissolvido	mg/L
Tratamento	Produção de Biogás	Normal m³/dia
Tratamento	Produção de Lodo	ton/dia
Tratamento	Produtividade	m³/ciclo
Tratamento	Remoção de areia	kg/mês
Tratamento	Remoção de DBO	mg/L
Tratamento	Remoção de material gradeado	kg/mês
Tratamento	Remoção de SST	mg/L
Tratamento	Remoção de Voláteis	%
Tratamento	Taxa de Recirculação de Lodo	%
Tratamento	Vazão	L/s
Disponibilidade	Disponibilidade %	%

Fonte: Autor (2022)

➢ *Modelagem Matemática*

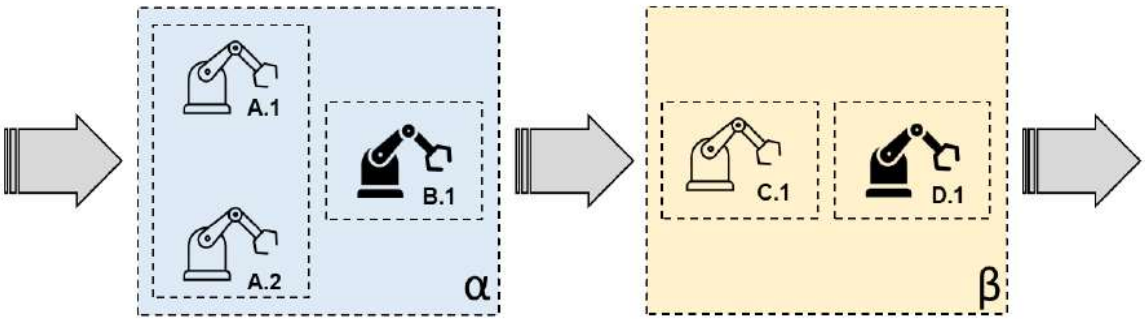
Para garantir uma estratégia de cooperação, tanto a coleta como o tratamento dos dados que mensuram o processo devem ser preocupações constantes das empresas. Diante disso, a fim de sustentar a credibilidade do IPTRAT, este será submetido a metodologia descrita pelo indicador OEE modelado a partir dos indicativos descritos na tabela 4, logo:

$$IPTrat = Disponibilidade * Qualidade * Tratamento \qquad \text{Equação (1)}$$

Em virtude da especificidade do processo, a métrica dos parâmetros de qualidade e tratamento será atribuída pela média de seus fatores em cada etapa do fluxo, uma vez que se tratando de índices normativos e operacionais, são calculados em função de uma faixa ou limite ótimo. Todavia, o índice de disponibilidade será analisado em virtude do Índice de Disponibilidade dos Equipamentos - IDE, uma vez que a equipe de manutenção já realiza este controle.

Assim, para cada etapa do processo tem-se que:

Figura 7: Esboço de análise do IPTrat



Fonte: Autor (2022)

$$IPTrat = \prod \left(\frac{\sum_{i=0}^{n} IDE_i}{n} . \frac{\sum_{j=0}^{n} Q_j}{n} . \frac{\sum_{k=0}^{n} T_k}{n} \right) \Big|_{\partial} \qquad \text{Equação (2)}$$

Em que IDE representa o índice de disponibilidade dos equipamentos que compõem a etapa do processo ∂, n o número de equipamentos que compõem a etapa, Q e T os pilares de Qualidade e Tratamento respectivamente.

➢ *Reestruturação do Dashboard*

Após o delineamento, segmentação e modelagem numérica do indicador, foram elencados os processos e relacionados os parâmetros que são avaliados em cada um destes.

Vale ressaltar que na etapa de mapeamento do processo foram consideradas as EEE's como parte integrante das ETE's. Este conceito também era distorcido no modelo anterior, já que era tratado de maneira diferente em cada unidade. Por isso, é importante salientar que no dashboard proposto passa a considerá-las do mesmo modo em todos os casos.

Tabela 5: Relação: Indicadores x Processos.

ETE	Processo	Parâmetro																																						
			Tratamento																			Qualidade																		
		Disponibilidade	Remoção de DBO	Remoção de SST	Taxa de Recirculação de Lodo	Remoção de areia	Remoção de material gradeado	Cota (tempo de atendimento)	Vazão	Disponibilidade de reúso	Oxigênio Dissolvido	Captura de Sólidos	Dosagem de Cloreto	Dosagem de Polímero	Produção de Biogás	Remoção de Voláteis	St da Torta	Produção de Lodo	Produtividade	Dosagem de Cal	Limpeza de grades	Automação	Concentração de lodo ST	Concentração SS Efluente	Manto de Lodo	Relação SV/St	Concentração de DBO mg/L	Eficiência Energética	Turbidez	Concentração de CRT	Concetração de Lodo SST	Concentração de ST	Concentração da Solução de Polímero	CST	Acidez	Alcalinidade	Concentração da Solução de Cal	pH Lodo condicionado	Alumínio	Amônia
EEE Guamiranga	ABC	X						X	X												X	X																		
EEE Mooca	ABC	X						X	X													X						X												
EEE Ribeirão Pires	ABC	X						X	X													X						X												
EEE Tamanduateí III	ABC	X						X	X												X	X						X												
EEE ITi-14	São Miguel	X					X	X	X													X						X												
EEE ITi-15	São Miguel	X					X	X	X													X						X												
EEE Jundiapeba	Suzano	X						X														X						X												
EEE Itaim	Suzano	X						X	X													X						X												
EEE Taiaçupeba	Suzano	X						X	X													X						X												
EEE Guaió	Suzano	X						X	X													X						X												
EEE Una	Suzano	X						X	X													X						X												
EEE Final	ABC	X					X	X	X													X						X												
	São Miguel	X					X	X	X													X						X												
	Suzano	X					X	X	X													X																		
Desarenação	ABC	X				X	X															X				X														
	São Miguel	X				X	X															X				X														
	Suzano	X				X	X															X				X														
Decantador Primário	ABC	X	X	X																		X	X	X	X															
	São Miguel	X	X	X																		X	X	X	X															
	Suzano	X	X	X																		X	X	X	X															
Tanque de Aeração	ABC	X									X											X						X			X									
	São Miguel	X									X											X						X			X									
	Suzano	X									X											X						X			X									
Decantador Secundário	ABC	X			X																	X		X	X		X													
	São Miguel	X			X																	X		X	X		X													
	Suzano	X			X																	X		X	X		X													
EPAR	São Miguel	X								X																			X	X										
Aquapolo	ABC	X																									X		X	X									X	X
Adensadores	ABC	X					X					X										X										X								
	São Miguel	X					X					X										X										X								
	Suzano*	X					X															X																		
Digestores	ABC	X													X	X						X													X	X				
	São Miguel	X													X	X						X													X	X				
	Suzano	X													X	X						X													X	X				
Condicionamento Químico	ABC	X											X							X		X												X			X	X		
	São Miguel	X											X	X								X											X	X						
	Suzano	X											X							X		X												X			X	X		
DML	ABC	X															X	X	X			X																		
	São Miguel	X															X	X	X			X																		
	Suzano	X															X	X	X			X																		

Fonte: Autor (2022)

Por fim, com base nessa relação, é possível a inserção dos dados em uma planilha construção de um dashboard interativo, capaz de analisar separadamente ou em conjunto as unidades, processo, fases, fatores ou parâmetros do indicador IPTrat.

Figura 8: Planilha de dados para cálculo do IPTrat (Parcial)

Periodo	ETE	Fas	Processo	Pilar	Parâmetro	Unidade	Método	Prev	Min	Max	Real	%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Primário	Disponibilidade	% Tempo Disponivel	h	Prev/Real	744			607	82%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Primário	Qualidade	Automação	Atendimento	Prev/Real	100%			50%	50%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Primário	Qualidade	Concentração de lodo SST	%	Se dentro da faixa: 100% Se fora da faixa: Desvio/Limite		0,5%	1,5%	1,0%	100%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Primário	Qualidade	Concentração SS Efluente	ml/L	Se<Máx: 100% Se>Máx: Desvio/Limite			1	2	0%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Primário	Qualidade	Manto de Lodo	m	Se<Máx: 100% Se>Máx: Desvio/Limite			1,5	2,97	2%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Primário	Tratamento	Remoção de DBO	mg/L	Real/Prev	90			0	0%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Primário	Tratamento	Remoção de SST	mg/L	Real/Prev	60%			0%	0%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Secundário	Disponibilidade	% Tempo Disponivel	h	Prev/Real	744			725,4	98%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Secundário	Qualidade	Automação	Atendimento	Prev/Real	100%			50%	50%
jan/22	São Miguel	Liquida	Decantador Secundário	Qualidade	Concentração de DBO mg/L	mg/L	Se<Máx: 100%			60	60	100%

Fonte: Autor (2022)

Figura 9: Painel de análise do IPTrat



Fonte: Autor (2022)

Este relatório permite que a análise e comparação dos resultados entre o modelo hoje empregado e o novo modelo proposto.

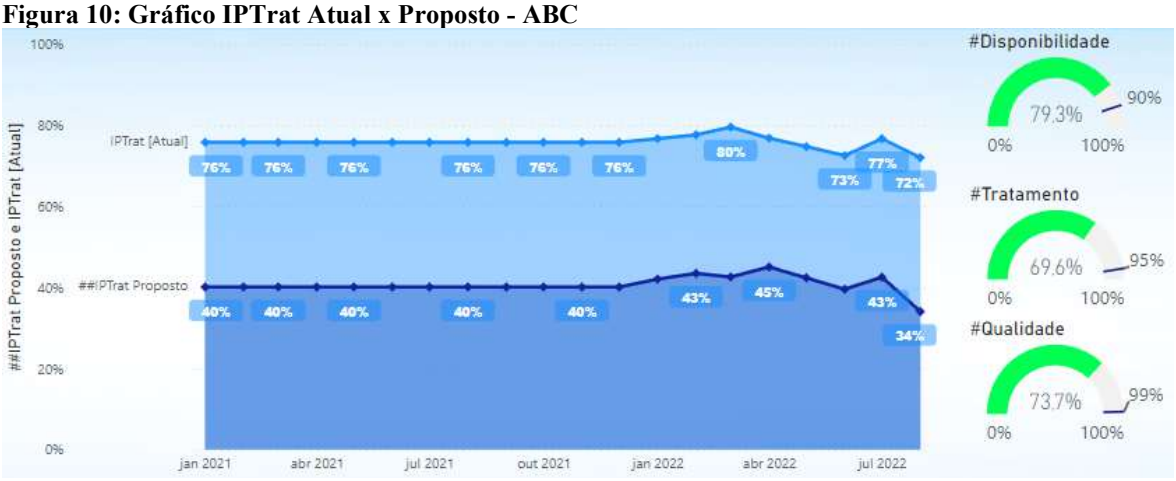
RESULTADOS

Através do dashboard de análise, foi possível segmentar os gráficos entre unidades e comparar o valor histórico do indicador entre o modelo atual e o proposto, como demonstrado nas figuras 10, 11 e 12

Ao se comparar as 3 unidades, nota-se o mesmo resultado: uma diminuição significativa no valor global do IPTrat, porém com o comportamento histórico levando a uma linha de tendência similar.

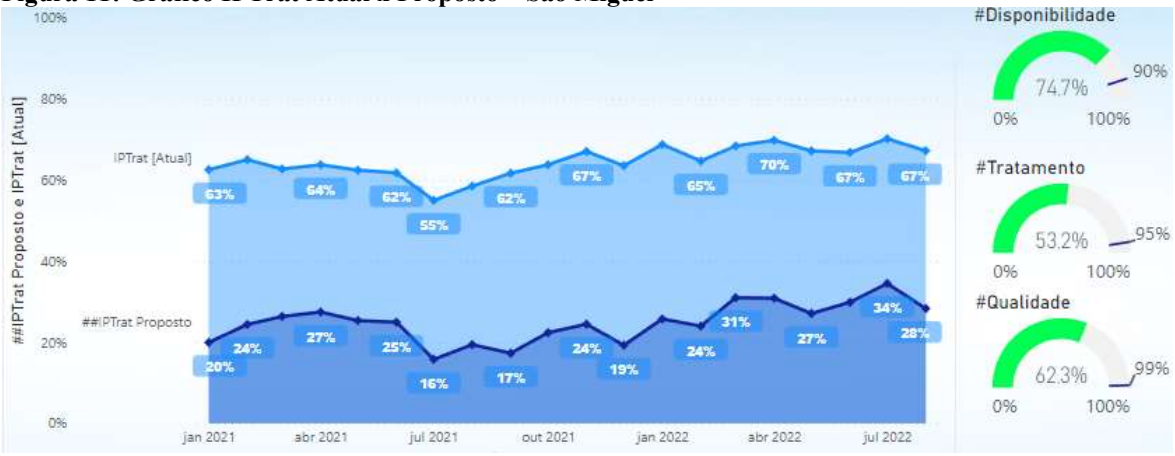
Isso indica que ambos os modelos tendem a prover a mesma resposta quanto ao comportamento dos processos, mas em proporções diferentes, já que um é dimensionado com base em pesos atribuídos, enquanto o outro desloca seu valor com base na performance útil dos sistemas.

Figura 10: Gráfico IPTrat Atual x Proposto - ABC



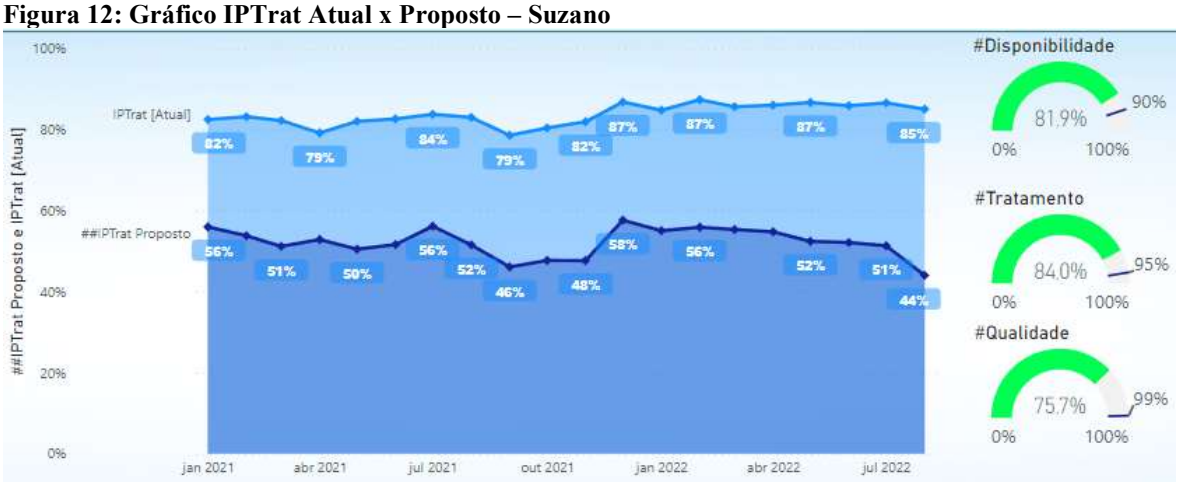
Fonte: Autor (2022)

Figura 11: Gráfico IPTrat Atual x Proposto – São Miguel



Fonte: Autor (2022)

Figura 12: Gráfico IPTrat Atual x Proposto – Suzano



Fonte: Autor (2022)

Com análise do Erro Quadrático Médio (MSE) dos modelos, também foi possível comparar o grau de disparidade numérica entre as propostas.

Tabela 6: Resultados de Erro Quadrático Médio (MSE).

ETE	ABC			São Miguel			Suzano		
Período	IPTrat Proposto	IPTrat [Atual]	Desvio Quadrático	IPTrat Proposto	IPTrat [Atual]	Desvio Quadrático	IPTrat Proposto	IPTrat [Atual]	Desvio Quadrático
jan-21	40%	74%	11%	20%	74%	29%	56%	74%	3%
fev-21	40%	75%	12%	24%	75%	25%	54%	75%	4%
mar-21	40%	74%	11%	26%	74%	22%	51%	74%	5%
abr-21	40%	73%	11%	27%	73%	21%	53%	73%	4%
mai-21	40%	73%	11%	25%	73%	23%	50%	73%	5%
jun-21	40%	73%	11%	25%	73%	23%	52%	73%	5%
jul-21	40%	72%	10%	16%	72%	31%	56%	72%	2%
ago-21	40%	72%	10%	19%	72%	28%	52%	72%	4%
set-21	40%	72%	10%	17%	72%	30%	46%	72%	7%
out-21	40%	73%	11%	22%	73%	26%	48%	73%	7%
nov-21	40%	75%	12%	24%	75%	25%	48%	75%	7%
dez-21	40%	75%	12%	19%	75%	31%	58%	75%	3%
jan-22	42%	77%	12%	26%	77%	26%	55%	77%	5%
fev-22	43%	77%	11%	24%	77%	28%	56%	77%	4%
mar-22	43%	78%	12%	31%	78%	22%	55%	78%	5%
abr-22	45%	78%	11%	31%	78%	22%	55%	78%	5%
mai-22	42%	76%	11%	27%	76%	24%	52%	76%	6%
jun-22	40%	75%	13%	30%	75%	20%	52%	75%	5%
jul-22	43%	78%	12%	34%	78%	19%	51%	78%	7%
ago-22	34%	75%	17%	28%	75%	22%	44%	75%	9%
MSE	12%			25%			5%		

Fonte: Autor (2022)

Através dos números inferidos, percebe-se que a magnitude do erro está diretamente relacionada à diferença de performance entre os pilares Disponibilidade x Tratamento x Qualidade. Isso ocorre porque no modelo atual, o parâmetro de maior peso sempre causa impacto no valor global, enquanto os de menor peso acabam influenciando de forma insignificante.

Na maioria dos casos, o parâmetro de Disponibilidade é atribuído com um peso de aproximadamente 50%. Sendo assim, o IPTrat atual acaba por apresentar nada mais do que um indicador de Disponibilidade distorcido pelo ruído de valores subjacentes.

CONCLUSÃO

O trabalho atingiu o objetivo geral de propor a reformulação do indicador IPTrat existente, baseado no modelo matemático de OEE. O método que já é validado mundialmente foi adaptado à realidade operacional do saneamento e comparado ao modelo empregado atualmente.

O novo modelo não só traz um método mais assertivo que o atual, mas também permite que a análise seja objetiva e coerente na comparação entre processos e unidades distintas. Pelo fato de não depender da atribuição de pesos para definir níveis de criticidade, o método de produtório de médias segmentadas altera a criticidade de parâmetros de modo dinâmico, conforme sua situação real.

Os resultados indicaram que a performance real das ETE's analisadas é muito menor do que se acreditava com o uso do método atual. No entanto, com padrões de variação dos dois modelos mostraram concordar entre si.

Portanto, a metodologia apresentada é suficientemente capaz de subsidiar as tomadas de decisão estratégicas de forma assertiva. Recomenda-se, porém, que para sua implementação, este trabalho seja revisitado pelas lideranças responsáveis e equipes multidisciplinares que participaram da elaboração do modelo atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro. 2011.

2. BARBARÁ, Saulo de Oliveira(org.). Gestão por processos: fundamentos, técnicas e modelos de implementação: foco no sistema de gestão de qualidade com base na norma ISO 9000:2000. 2. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.

3. BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 135, p. 1, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421. Acesso em: 15 jun. 2022.

4. Resolução CONAMA Nº 430/2011 - Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/component/sisconama/?view=atosnormativos. Acesso em: 12 jul. 2022.

5. HANSEN, R.C. Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para aumento dos lucros. Editora Bookman, Porto Alegre, 2006.

6. JONSSON, P. & LESSHAMMAR, M. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems: the role of OEE. International Journal of Operations & Product management, 1999. 12

7. N. NOHRIA, W. JOYCE e B. ROBERSON, 2003, What really works. Harvard Business Review, 81(7): p. 42-52.

8. ReCESA; Esgotamento Sanitário – Processos de Tratamento de Esgotos - Nível 1; Brasil; ReCESA-Rededе Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental

9. SABESP. Relatório de sustentabilidade. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://ri.sabesp.com.br/a-companhia/relatorio-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 4 jun. 2022.

10. SÃO PAULO. Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n.° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado: seção 1, São Paulo, SP, ano 86, n. 171, p. 4-18, 8 set. 1976. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1 976.html. Acesso em: 12 jul. 2022.

11. SOUSA, Selma Regina de. Avaliação da Performance das Estações de Tratamento de Esgoto. Sabesp, São Paulo, 2019.

12. T. J. ANDERSEN, 2004, Integrating decentralized strategy making and Strategic planning processes in dynamic environments. Journal of Management Studies, 41: p. 1271-1299.