Encontro Técnico AESABESP
Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente



35ETC-06576
Reestruturação do Indicador de Performance do Tratamento - IPTrat baseado nos princípios de Overall Equipment Effectiveness - OEE

Bruno Fernandes de Holanda
Sabesp

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp

1. Introdução

- Visão Geral:
  - Desenvolvimento do IPTrat para avaliar a performance das ETE's.
  - Problemas encontrados no modelo atual, como subjetividade na atribuição de pesos.
  - Proposta de reformulação baseada no OEE para maior objetividade e eficácia.

- Motivação do Estudo:
  - Necessidade de uma ferramenta eficiente para priorizar a gestão de ativos em ETEs.
  - Deficiências do IPTrat vigente (subjetividade, falta de clareza na ponderação dos pesos).

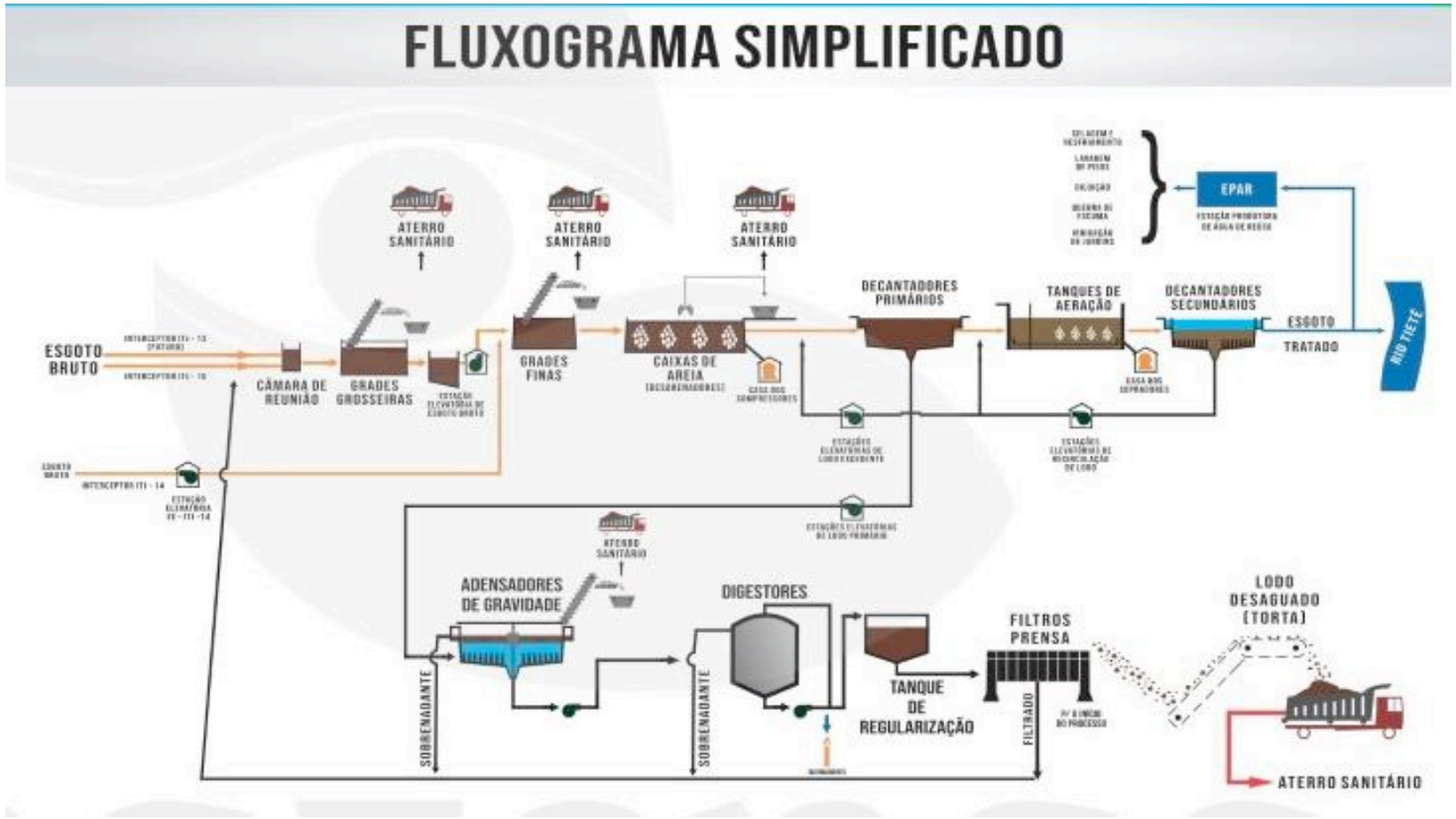
2. Objetivo

Reformular o indicador IPTrat utilizando uma metodologia baseada no OEE.

- Objetivos Específicos:
  - •Caracterizar e mapear o processo de tratamento de esgoto.
  - •Delinear o indicador de eficiência global (OEE) e sua metodologia.
  - •Segmentar indicadores de tratamento, disponibilidade e qualidade.
  - •Otimizar o modelo matemático do OEE para a realidade operacional das ETEs.
  - •Reestruturar o dashboard de gerenciamento do IPTrat.

3.1. Processo de Tratamento de Esgotos

- Etapas Principais: Preliminar, Primário, Secundário e Terciário;
- Fase: Líquida e Sólida
- Processo Predominante: Lodos Ativados



3.2. Índice de Performance de Tratamento (IPTrat)

- Metodologia Atual:
  - Avaliação por parâmetro, etapa e fase do processo;
  - Atribuição de parâmetros e pesos com base na experiência;
  - Cada unidade determinas sua distribuição de pesos;
  - Eficiência global resulta das ponderações totais.

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%	50%	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%

Etapa do tratamento

Fatores críticos

Regularidade Operacional

Pesos

Dados de manutenção e operação

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%		

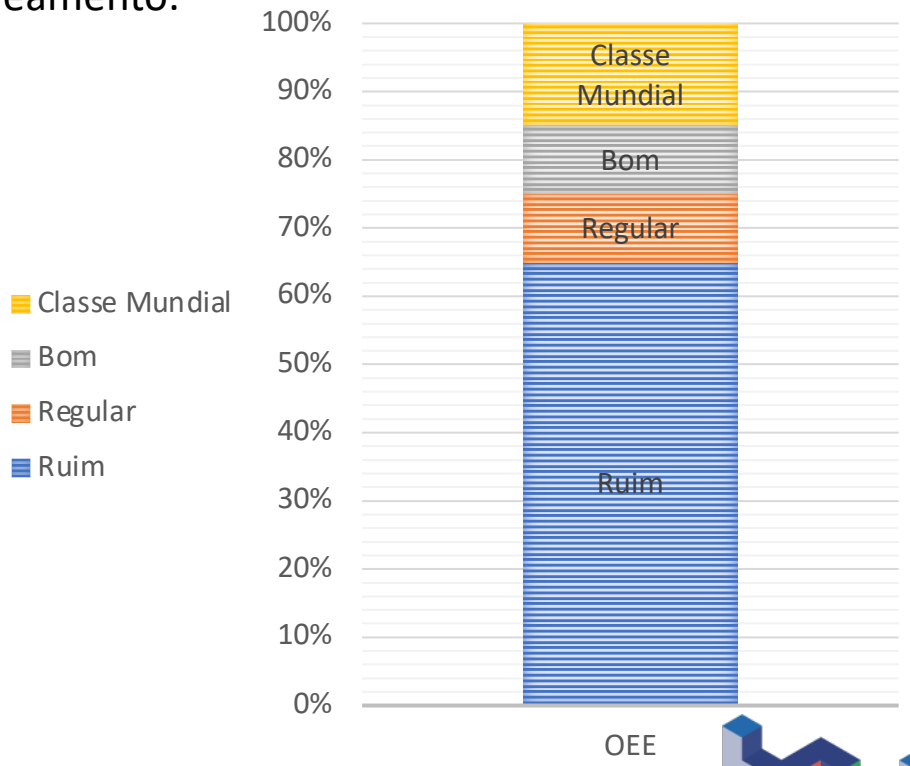
Processo	Parâmetro	ABC	SMP	Suz
Adensadores	Automação	10%	10%	
	Captura de Sólidos	10%	15%	
	Concentração de ST	10%	5%	
	Disponibilidade %	70%	70%	
Condicionamento Químico	Automação	20%	20%	10%
	Concentração da Solução de Cal	10%		4%
	Concentração da Solução de Polímero		10%	
	CST	5%	5%	8%
	Disponibilidade %	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%

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%

3.3. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

- Conceito de OEE:
  - Ferramenta para avaliar a eficácia global de equipamentos em processos de fabricação;
  - Considera três fatores: Disponibilidade, Performance e Qualidade;
  - Amplamente consolidado na indústria e adaptável ao saneamento.

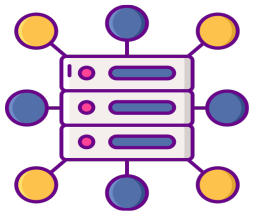




4. Metodologia

- Etapas:
  - Mapeamento do processo;
  - Delineamento e segmentação de cálculo;
  - Modelagem matemática;
  - Reestruturação do Dashboard.

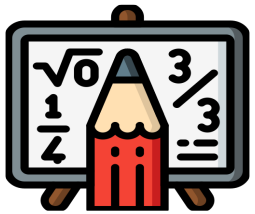
- Estudo de caso para 3 ETE’s:
  - ABC;
  - São Miguel;
  - Suzano.



Definição de etapas e fases do processo



Definição e classificação dos parâmetros



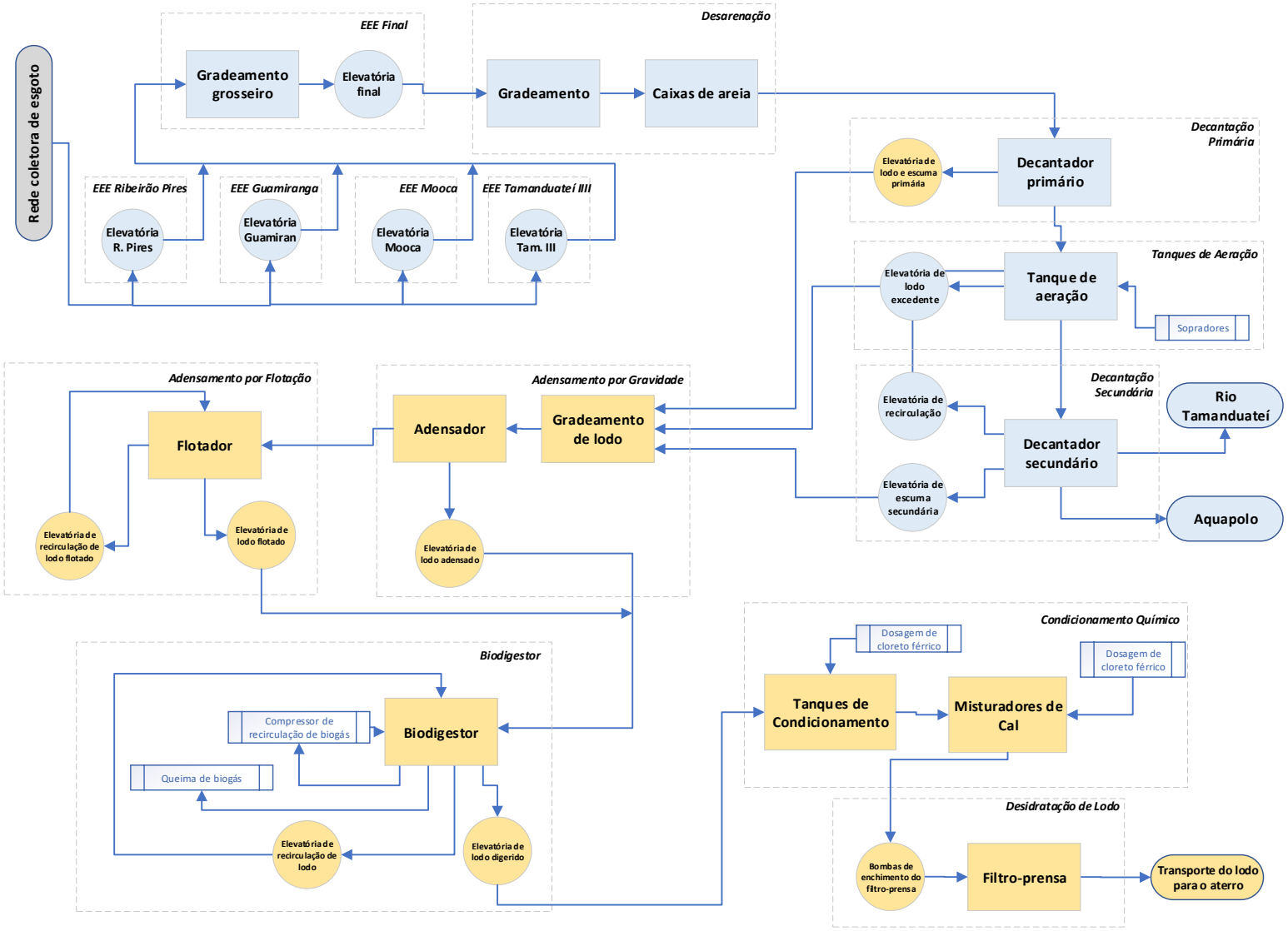
Formulação do modelo de cálculo



Aplicação dos dados para análise

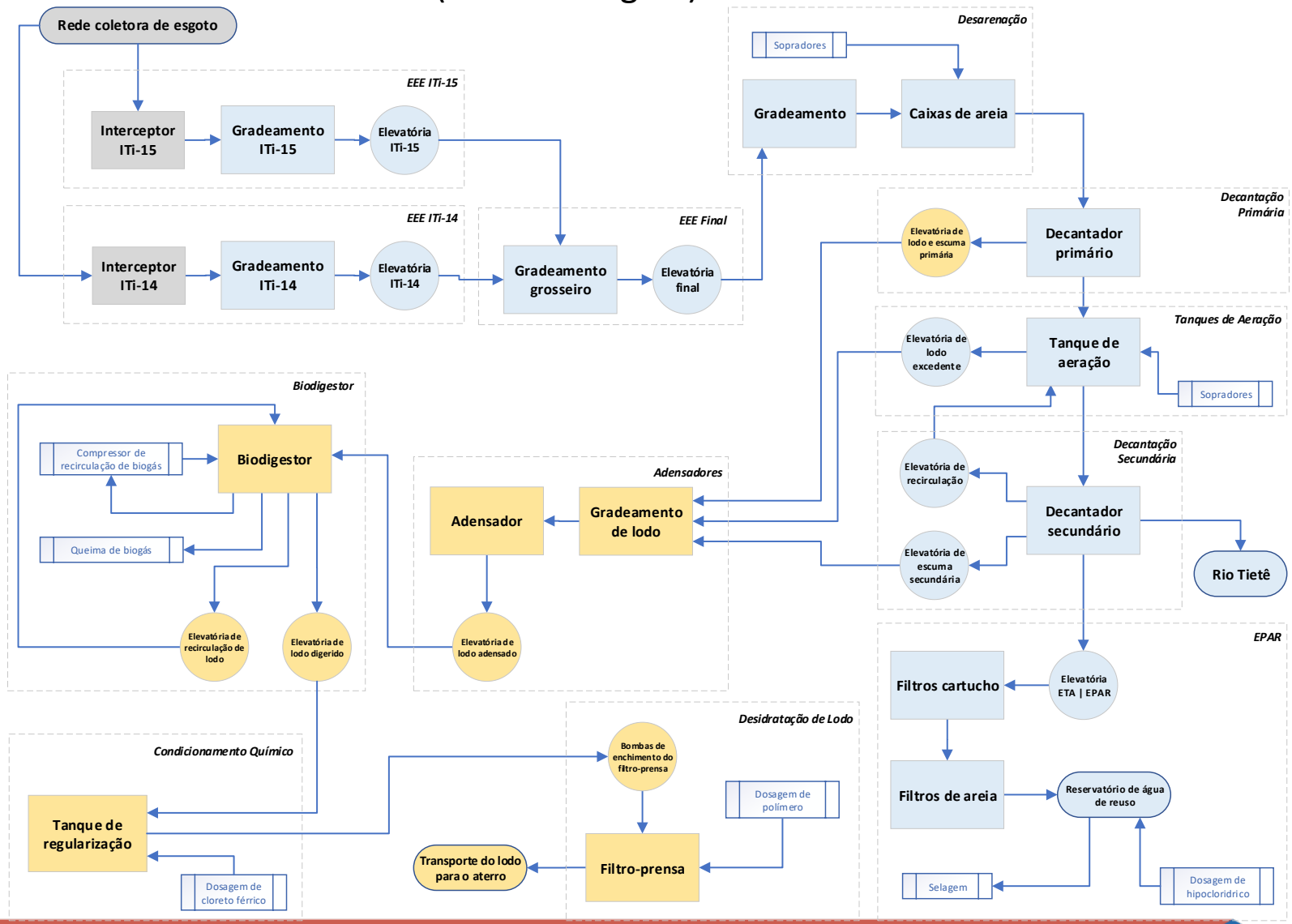
4.1. Mapeamento do Processo

(ETE ABC)



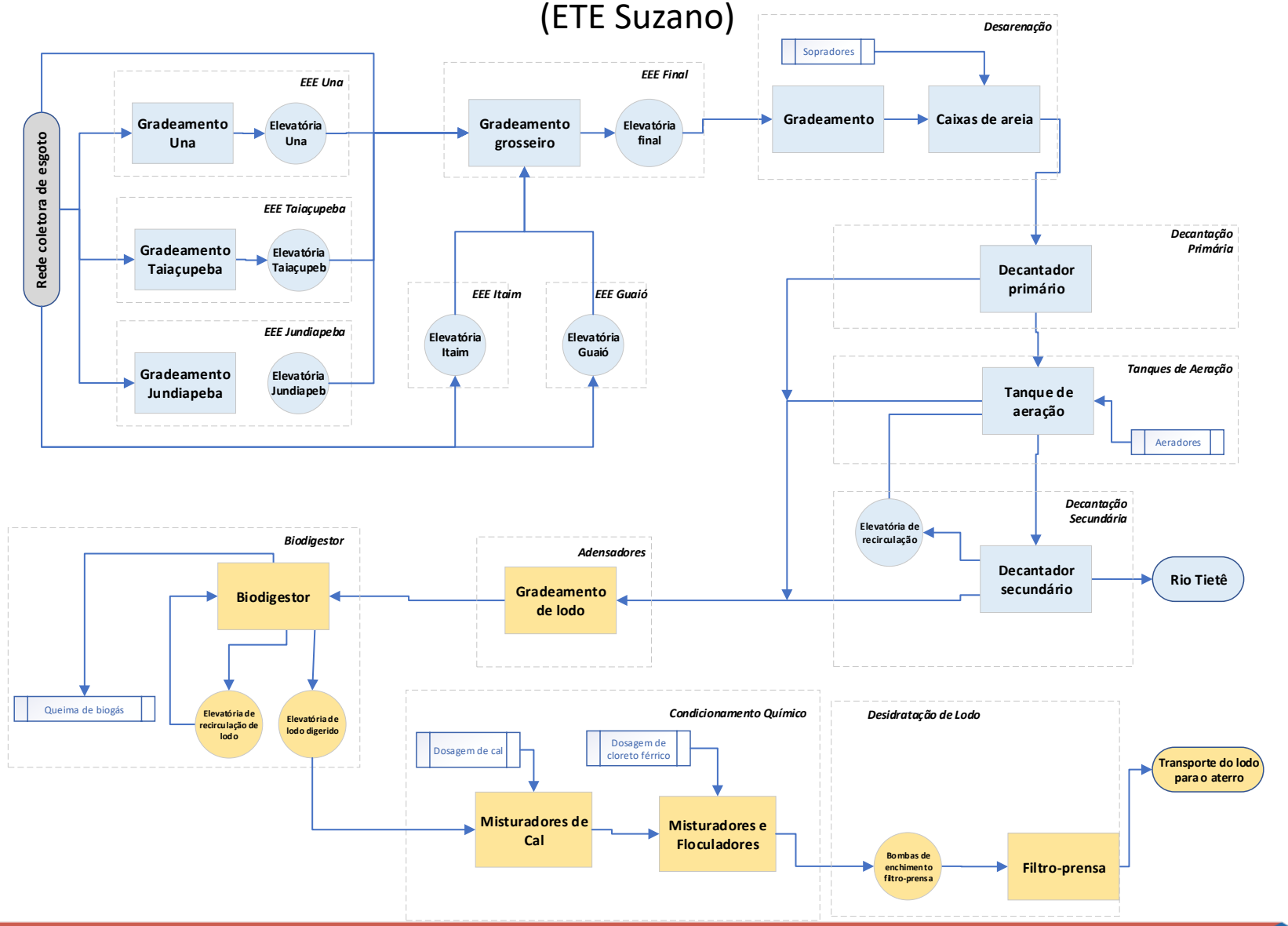
4.1. Mapeamento do Processo

(ETE São Miguel)



4.1. Mapeamento do Processo

(ETE Suzano)



4.2. Delineamento e Segmentação de Cálculo

- Segmentação dos indicadores de cada processo em três pilares:
  - Disponibilidade;
  - Qualidade;
  - Tratamento.

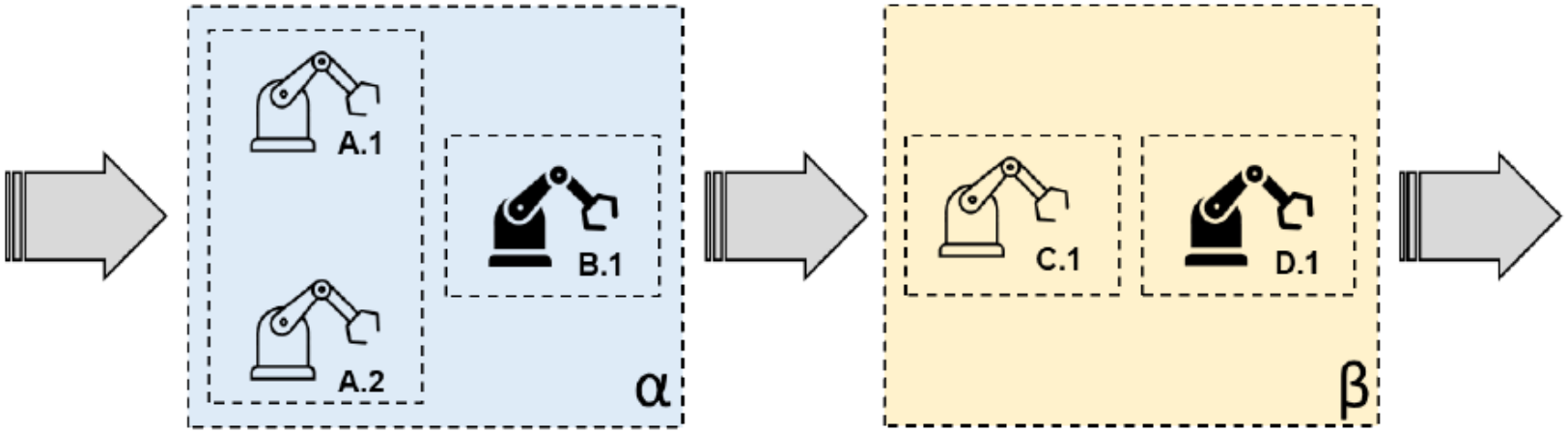
Pilar	Parâmetro	Unidade
Qualidade	Turbidez	NTU
Qualidade	Acidez	mg/L
Qualidade	Alcalinidade	mg/L
Qualidade	Alumínio	mg/L
Qualidade	Amônia	mg/L
Qualidade	Automação	Atendimento %
Qualidade	Concentração da Solução de Cal	%
Qualidade	Concentração da Solução de Polímero	%
Qualidade	Concentração de CRT	mg/L
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 %	%

ETE	Processo	Disponibilidade	Tratamento																		Qualidade																					
			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	Concentração 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																			

4.3. Modelagem Matemática

- Cálculo baseado em critérios de OEE:
  - IDE = Disponibilidade;
  - Q = Média de parâmetros de Qualidade;
  - T = Média de parâmetros de Tratamento;
  - n = Nº de Equipamentos equivalentes;
  - ∂ = delimitação dos processos.

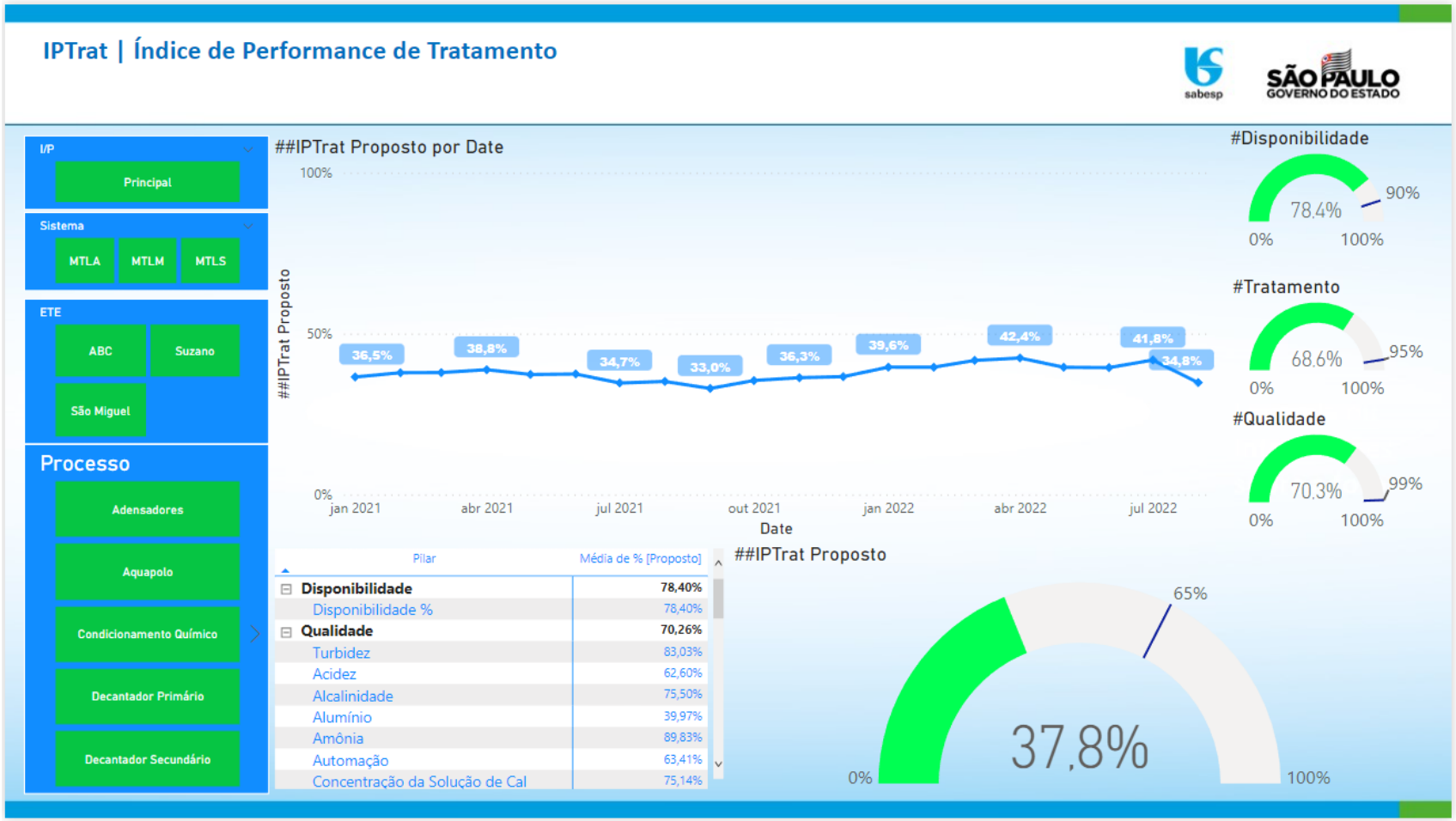


$$IPTrat = \prod \left(\frac{\sum_{i=0}^{n} IDE_i}{n} . \frac{\sum_{j=0}^{n} Q_j}{n} . \frac{\sum_{k=0}^{n} T_k}{n} \right) \Big|_{\partial}$$

$$IPTrat = Disponibilidade * Qualidade * Tratamento$$

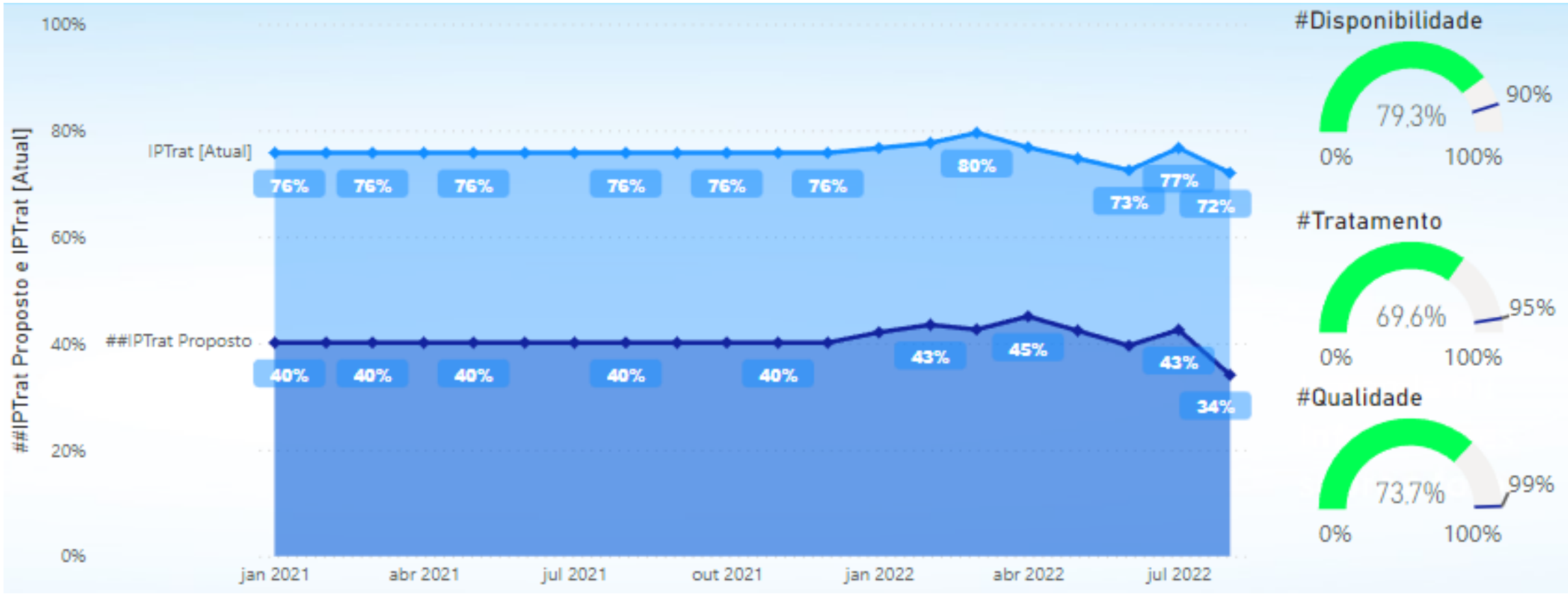
4.4. Reestruturação do Dashboard

- Criação de um dashboard interativo para análise;
- Comparação dos dados entre diferentes unidades e fases do processo.



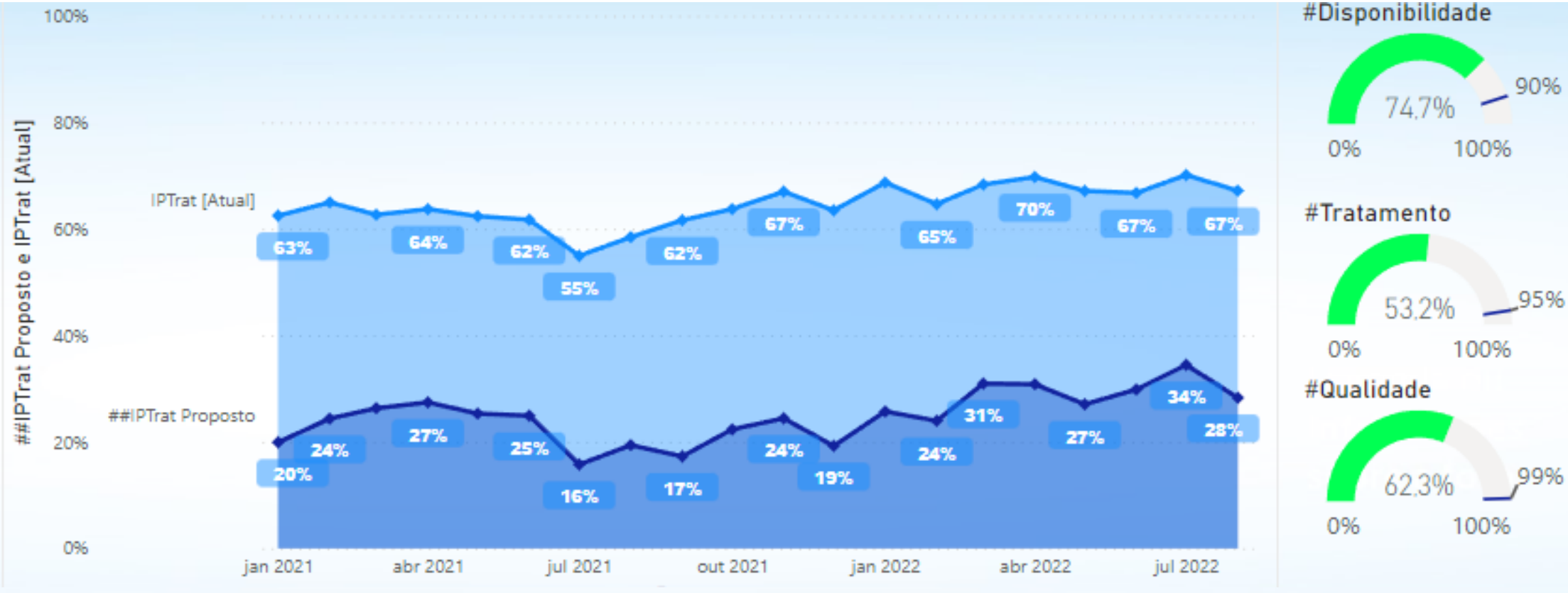
5. Resultados

- IPTrat Atual x Proposto - ABC



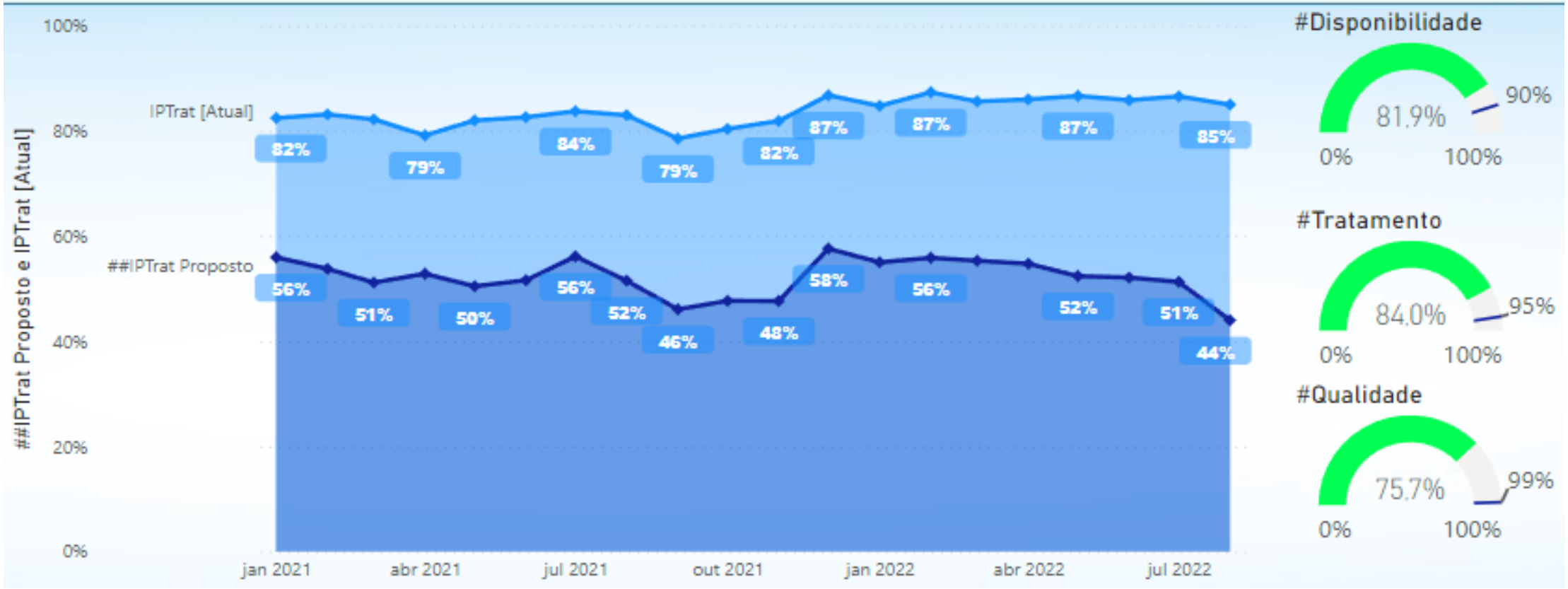
5. Resultados

- IPTrat Atual x Proposto – São Miguel



5. Resultados

- IPTrat Atual x Proposto - Suzano



5. Resultados

- Comparação do IPTrat Atual vs. Proposto:
  - Redução significativa nos valores de performance;
  - Comportamentos similar ao longo do tempo;
  - Modelo anterior consistia de disponibilidade distorcida por ruídos;
  - Modelo proposto isento de viés e subjetividade;
  - Possibilidade de análise segmentada e comparação uniforme;
  - Análise de Erro Quadrático Médio (MSE) demonstra disparidade numérica entre o modelo atual e o proposto.

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%		

6. Conclusão

- O trabalho atingiu o objetivo de reformular o IPTrat usando o modelo OEE;
- O método OEE é validado mundialmente e foi adaptado para a avaliação de ETE’s;
- O novo modelo é mais assertivo e permite uma análise objetiva e coerente entre processos e unidades;
- O método elimina a necessidade de atribuição subjetiva de pesos, ajustando dinamicamente a criticidade dos parâmetros;
- A performance real das ETEs é inferior ao que se acreditava com o modelo anterior;
- Ambos os modelos apresentam padrões de variação semelhantes;
- O modelo proposto é eficaz para subsidiar decisões estratégicas de forma assertiva;
- Recomenda-se que o modelo seja revisitado pelas lideranças e equipes antes de sua implementação.

Referências

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.

Encontro Técnico
AESABESP
Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente



OBRIGADO!

Bruno Fernandes de Holanda
11 98332-3804
bholanda@sabesp.com.br



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

AESABESP
Associação dos Engenheiros da Sabesp