



---

**ECONOMIA E METODOLOGIA SEIS SIGMA:  
UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO NO PROCESSO PRODUTIVO DAS ESTAÇÕES  
DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

GABRIELE LOPES SILVA  
MARCO ANTÔNIO FERREIRA  
REGINALDO FIDELIS

Artigo e aceite para publicação em 21/12/2022  
DOI: 10.5433/2318-9223.2022v10n1p26-37

**RESUMO**

O tratamento da água no Brasil, para consumo humano, realizado pelas estações de tratamento de água (ETAs), apresentam os seguintes processos: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção química e fluoretação. Estes processos podem ser otimizados visando o aumento da eficiência operacional. A metodologia utilizada neste trabalho foi a bibliográfica e a prospecção de um modelo com a simulação do seu funcionamento baseada em dados hipotéticos de ETA. Portanto o resultado desse estudo apresenta uma aplicação da metodologia seis sigma à uma ETA, demonstrando que a evolução pode ser gradativa pois para uma produção de 2,58 milhões de m<sup>3</sup>/mês, o volume de água produzido na ETA em conformidade seria de aproximadamente 1,95 milhões de m<sup>3</sup>/mês e o volume não conforme seria de 990,6 mil de m<sup>3</sup>/mês. Caso a ETA obtenha um nível Seis Sigma de excelência, a operação de tratamento de água deveria apresentar apenas 3,4 defeitos a cada um milhão de oportunidades, resultando em um rendimento de 99,9997%. Nestas condições, o volume de água produzido em conformidade seria de 2,58 milhões de m<sup>3</sup>/mês e o volume não conforme seria de apenas 7,75 m<sup>3</sup>/mês.

**PALAVRAS-CHAVE.** Seis Sigma. Estação de tratamento de água. Qualidade no tratamento da água.

**ECO-EFFICIENCY AND SIX SIGMA METHODOLOGY:  
A PROPOSAL FOR APPLICATION IN THE PRODUCTION PROCESS OF WATER  
TREATMENT STATIONS**

## ABSTRACT

The treatment of water in Brazil, for human consumption, carried out by water treatment stations (WTSs), present the following processes: coagulation, flocculation, decantation, filtration, disinfection, chemical correction and fluoridation. These processes can be optimized in order to increase operational efficiency. The methodology used in this work was the bibliographical one and the prospection of a model with the simulation of its functioning based on hypothetical data from WTS. Therefore, the result of this study presents an application of the six sigma methodology to an WTS, demonstrating that the evolution can be gradual because for a production of 2.58 million m<sup>3</sup>/month, the volume of water produced in the WTS in compliance would be approximately 1.95 million m<sup>3</sup>/month and the non-compliant volume would be 990.6 thousand m<sup>3</sup>/month. If the WTS achieves a Six Sigma level of excellence, the water treatment operation should have only 3.4 defects per million opportunities, resulting in a yield of 99.9997%. Under these conditions, the volume of water produced in compliance would be 2.58 million m<sup>3</sup>/month and the non-compliant volume would be only 7.75 m<sup>3</sup>/month.

**KEYWORDS.** Six Sigma. Water treatment station. Quality in water treatment.

## INTRODUÇÃO

O tratamento da água no Brasil, para consumo humano, realizado pelas estações de tratamento de água (ETAs) apresentam os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção química e fluoretação (Macedo, 2007). Estes processos podem ser otimizados visando o aumento da eficiência operacional.

Para superar o desafio de promover o acesso universal de água potável, é preciso solucionar problemas de gestão inadequada, distribuição ineficiente, desperdício e poluição de corpos hídricos, segundo a *United Nations Development Programme* (UNDP, 2006). A forma de remoção de lodo das ETAs pode ser considerada um dos principais problemas de gestão de resíduo, pois influencia diretamente em sua quantidade e qualidade.

No Brasil, a frequência de remoção de lodo nos decantadores das ETAs convencionais de ciclo completo pode ser realizada em intervalos de até seis meses, o que pode gerar acúmulo de lodo, com elevada concentração de contaminantes orgânicos e inorgânicos, e dificultar a remoção e disposição final (Achon, 2008).

Em outro escopo, a sobrevivência das empresas depende do crescimento dos negócios, que hoje é determinado principalmente pela satisfação dos clientes, que é governado pelo tripé qualidade, preço e serviços. Esses quesitos podem ser obtidos por meio da capacidade do processo, que é limitado em grande parte por inúmeras variações (Andrietta & Miguel, 2007).

Geralmente as variações e limitações levam ao aumento de falhas no ciclo de produção. Para a eliminação dessas falhas, é de suma importância que se aplique o conhecimento correto para satisfazer o cliente e adquirir a excelência no processo (Santos, 2006).

O método Seis Sigma vem sendo muito utilizado pelas empresas da atualidade para eliminação ou diminuição das falhas e variabilidade em um processo (Andrietta, et al., 2002). A metodologia associa um rigoroso enfoque estatístico a um arsenal de ferramentas, que são empregadas com o objetivo de caracterizar as fontes da variabilidade, para demonstrar como esse conhecimento pode controlar e aperfeiçoar os resultados do processo (Watson, 2001). Parte dessas ferramentas são originalmente fundamentos básicos da *Total Quality Management* (TQM), utilizados na Revolução da Qualidade japonesa dos anos 70 e na Revolução da Qualidade norte-americana dos anos 80. No Brasil estas ferramentas começaram a serem amplamente utilizadas no início da década de 90 (Rodrigues, 2006).

A metodologia Seis Sigma trata a qualidade de uma forma ordenada, levando em conta todos setores e ações de uma organização, fazendo assim, com que as não conformidades de processos específicos não sejam as únicas a serem consideradas. Essa metodologia pode ser utilizada em qualquer setor ou empresa, assim como em vários níveis de complexidade (Rodrigues, 2006). Perante a isso, autores como Sadraoui et al. (2010), Kaushik e Kanduja (2008, 2009) buscaram avaliar e compreender os conceitos para serem aplicados em diversos assuntos referente ao reuso e gestão do consumo de água.

Existe uma grande lacuna teórica acerca da aplicação da metodologia Seis Sigma em estações de tratamento de água. Logo, isso serviu como incentivo para a verificação das possibilidades de utilização dessa estratégia de qualidade na gestão dos processos envolvidos no tratamento de água para abastecimento humano (Pohlmann et al., 2015).

A integração bem-sucedida do Seis Sigma com o setor de tratamento e abastecimento de água pode auxiliar na solução dos problemas de gestão, na redução dos custos e no fornecimento adequado para toda a população (Pohlmann et al., 2015). Com isso o objetivo deste trabalho é simular a aplicação da metodologia Seis Sigma a cada etapa do processo produtivo das ETAs.

## REFERENCIAL

### Caracterização da Estação de Tratamento de Água

O estudo foi desenvolvido com base na análise das etapas referentes ao tratamento convencional de água para abastecimento em uma ETA de configuração semelhante a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Os dados apresentados nessa pesquisa são de uma simulação e, portanto, não representam o verdadeiro desempenho de qualquer das ETAs. O objetivo da pesquisa é revelar, por meio dos resultados simulados nesse trabalho, oportunidades de aplicação da metodologia e seus ganhos econômicos e ambientais em uma ETA.

O tratamento convencional de água em ETAs é constituído basicamente das seguintes operações unitárias: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção química e fluoretação (Davis, 2010; Heller & Pádua, 2006; Kawamura, 2000; Macedo, 2007).

Na etapa de coagulação, primeira etapa do tratamento, são adicionados produtos químicos que desestabilizam as suspensões coloidais de partículas sólidas que estão presentes na água bruta, formando flocos que ao passarem pelo decantador sedimentam e formam uma espécie de lodo no fundo do decantador (Ritcher, 2009). Esse lodo formado é um resíduo proveniente do tratamento de água e é composto basicamente de partículas do solo, material orgânico carregado para água bruta, subprodutos gerados da adição de produtos químicos e água (Andreoli, 2001).

De acordo com a Norma Brasileira 10.004, de 2004, o lodo da ETA é classificado como resíduo sólido, por ser resultantes de atividades de serviços, ficando incluídos como “lodos proveniente de sistemas de tratamento de água”. Perante a isso, esse resíduo não pode ser lançado em qualquer lugar (Silva et al., 2013). Seu destino deve ser determinado a partir das condições estabelecidas pela da Lei 12.305/2010 (artigo 3º, inciso XVI) (Brasil, 2010) e da série de normas NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) (Achon et al., 2013).

Nos processos convencionais de tratamento de água, os principais resíduos gerados nas ETAs, que possuem tecnologia de ciclo completo, são o lodo de decantadores e a lavagem dos filtros (Achon et al., 2013). Cada linha geradora de resíduos apresenta características distintas em termos de vazão e concentração de sólidos, razões pelas quais diferentes concepções de tratamento devem ser consideradas (Jordão, 2009).

### **Indicadores**

Foram atribuídos indicadores de referência específicos que servem como parâmetro para a avaliação da qualidade e determinação das não conformidades para cada fase desenvolvida na ETA, levando em conta a maior influência sobre a eficiência dos processos do tratamento de água (Pohlmann et al., 2015).

**QUADRO 1**

INDICADORES DE REFERÊNCIA E OS RESPECTIVOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA EFICIÊNCIA DO PROCESSO

<b>Operações</b>	<b>Indicadores de Referência</b>	<b>Fatores que influenciam na eficiência do processo</b>
Coagulação	Custos operacionais e volume do coagulante	Concentração de matéria suspensa, coloidal e dissolvida, pH, temperatura, dosagem de coagulante e tempo de mistura
Floculação	Custos operacionais e tamanho e densidade dos flocos	Eficiência da etapa anterior, quantidade de agitação, concentração de flocos.
Decantação	Custos operacionais, cor, sólidos dissolvidos e suspensos, turbidez, quantidade de lodo decantado, velocidade de sedimentação	Eficiência das etapas anteriores, tamanho e densidade dos flocos, quantidade de agitação.
Filtração	Cor, sólidos suspensos e dissolvidos, turbidez	Eficiência das etapas anteriores; tipo de filtro; tamanho do material a ser filtrado; método de filtração.
Desinfecção	Quantidade de agente desinfetante utilizado, contagem de microrganismos	Tempo de contato com a água; método de desinfecção; características do agente desinfetante; microrganismos envolvidos.
Correção química	Volume ou massa de agentes químicos utilizados, pH	Alcalinidade ou acidez da água; pH; temperatura.
Fluoretação	Volume de agente químico e concentração de flúor na água	-

FONTE: POHLMANN ET AL. (2015).

As principais não conformidades que possivelmente ocorrem nas ETAs (Quadro 2) foram determinadas com base nos indicadores representados na Quadro 1. Não conformidade é qualquer falha, imperfeição ou defeito ao longo do processo produtivo, tanto no ponto de vista financeiro quanto de qualidade (Pohlmann et al., 2015).

**QUADRO 2**

PRINCIPAIS NÃO CONFORMIDADES

<b>Operações unitárias</b>	<b>Não conformidades</b>
Coagulação	Alto volume de coagulante, elevado custo operacional e pH inadequado
Floculação	Pequeno tamanho dos flocos, baixa densidade dos flocos, elevado custo operacional e agitação elevada
Decantação	Baixa velocidade de sedimentação, elevado tempo de sedimentação, baixo volume de lodo decantado e baixa remoção de cor e turbidez
Filtração	Baixa remoção de cor e turbidez e elevado custo operacional
Desinfecção	Elevado volume de cloro, concentração final de cloro residual, contaminação microbiológica e elevado custo operacional
Fluoretação	Volume de produto químico, concentração de flúor de água e elevado custo operacional
Correção de acidez	Volume inadequado de agentes químicos e elevados custos operacionais

FONTE: POHLMANN ET AL. (2015).

**Metodologia Seis Sigma**

A metodologia Seis Sigma é uma abordagem que impulsiona a melhoria do desempenho do negócio e a valorização da satisfação dos clientes, por meio do enfoque estratégico de



gerenciamento, da aplicação do pensamento estatístico em todos os níveis de atividades, do uso de indicadores de desempenho, da utilização de uma metodologia sistematizada que integre técnicas variadas para se avaliar e otimizar processos, e da aprendizagem decorrente da capacitação e comprometimento das pessoas (Santos, 2006).

Segundo Yang e El-Haik (2008) o objetivo principal da metodologia Seis Sigma é a redução de defeitos, que implica na melhoria dos processos e na satisfação do cliente, tendo como objetivo final o aumento de lucro líquido. O termo Seis Sigma significa desvio padrão e tem origem em uma terminologia estatística. Dada a distribuição normal, a probabilidade de um dado estar 4,5 Sigma distante da média de um só lado é de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), e este dado representa o nível  $6\sigma$ , ou seja, um grau extremamente alto de precisão e baixa variabilidade do processo produtivo (Cavalcante, 2011).

O grande diferencial do método Seis Sigma se dá na forma de aplicação estruturada de procedimentos e ferramentas e em sua integração com a organização como um todo (Andrietta & Miguel, 2007; Pinto et al., 2008). Segundo Goh (2002), a aplicação do Seis Sigma ocorre com o apoio de uma série de ferramentas para a identificação, análise e solução de problemas, com acentuado embasamento na coleta e tratamento de dados com suporte estatístico.

## METODOLOGIA

A metodologia aplicada no estudo é bibliográfica e experimental, devido o tema ser pouco abordado na literatura. O emprego da metodologia Seis Sigma (Pande et al., 2001) no aumento da eficiência operacional de Estações de Tratamento de Água (ETAs), foi avaliado por meio de uma simulação de dados.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

### Matriz de verificação de oportunidades de defeitos

Este trabalho consiste na aplicação da ferramenta matriz de verificação de oportunidades de defeitos e com base na coleta de amostras, para o monitoramento da eficiência no processo de tratamento de água, que possivelmente geram falhas nos processos das ETAs. As falhas são apresentadas no Quadro 1 foram obtidas através da simulação de dados.

Pande et al. (2001), afirma que a filosofia da metodologia Seis Sigma se orienta na prevenção e utiliza o controle estatístico da qualidade para definir padrões de excelência operacional, buscando alcançar processos produtivos com, no máximo, 3,4 DPMO.

O valor de DPMO (Equação 2) indica essencialmente quantos defeitos surgiriam se houvesse um milhão de oportunidades totais para atributos nominais (Pohlmann et al., 2015).

Utilizando a fórmula adaptada por Pohlmann et al. (2015), foram calculadas as oportunidades totais como mostra a Equação 1.

$$OT= UC. OP \tag{1}$$

Onde OT, OC e OP representam, respectivamente, as oportunidades totais, as oportunidades contadas e as oportunidades.

Número de defeitos a cada um milhão de oportunidades (DPMO) é obtida a partir da equação, onde DTC e OT são, respectivamente, os defeitos totais contados e oportunidades totais.

$$DPMO= (DTC/OT).10^6 \tag{2}$$

Os resultados obtidos no Quadro 3, correspondem aos defeitos detectados na simulação ETA no período de 30 dias, obtendo-se um total de 30 amostras.

**QUADRO 3**  
MATRIZ DE VERIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE DEFEITOS

Dia	Operações unitárias																				OP		
	CG			FLC				DEC				FLT		DES				FLU				CQ	
	a	b	c	D	e	F	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	Q	r	s	t		u	v
1	1		1																				2
2																							0
3	1		1	1																		1	4
4	1			1			1	1			1				1		1		1				18
5																							0
6																							0
7																							0
8	1		1																				2
9																							0
10	1		1																		1	1	4
11	1			1			1	1			1				1		1		1				8
12		1																					1
13																							0
...																							0
30					1																		1

CG: coagulação; FLC: floculação; DEC: decantação; FLT: filtração; DES: desinfecção; FLU: fluoretação; CQ: correção da química; OP: oportunidades; a: volume de coagulante; b: elevado custo operacional; c: pH inadequado; d: pequeno tamanho dos flocos; e: baixa densidade dos flocos; f: elevado custo operacional; g: agitação elevada; h: baixa velocidade de sedimentação; i: elevado tempo de sedimentação; j: baixo volume de lodo decantado; k: baixa remoção de cor e turbidez; l: baixa remoção de cor e turbidez; m: elevado custo operacional; n: elevado volume de cloro; o: concentração de cloro residual; p: contaminação microbiológica; q: elevado custo operacional; r: volume de produto químico; s: concentração de flúor na água; t: elevado custo operacional; u: volume inadequado de agentes químicos; v: elevados custos operacionais.

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Conforme afirma Pande *et al.* (2001), o valor de DPMO calculado representa o número de defeitos estimados a cada um milhão de oportunidades considerando o cálculo realizado para atributos. O processo de tratamento de água para abastecimento humano da ETA na

simulação apresentou 616.667 potenciais defeitos por milhão de oportunidades, que corresponde a um Nível Sigma 1,2 e a um rendimento de 61,67%.

Também foi estipulada a produção mensal de água na ETA necessária para abastecer a população do município de Londrina, considerando o consumo diário per capita de água é por volta de 170 L/hab e nos Distritos é de 167 L/hab (Londrina, 2009). A produção mensal de água será de (m<sup>3</sup>/mês) 2.584.175 (Pohlmann et al., 2015).

**TABELA 1**  
COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA PELO NÍVEL SIGMA

<b>Nível Sigma</b>	<b>1,20</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Rendimento (%)	61,67	93,3	99,98	99,99966%
Produção Mensal (m <sup>3</sup> .mês <sup>-1</sup> )	2.584.175	2.584.175	2.584.175	2.584.175
Volume tratado conforme (m <sup>3</sup> .mês <sup>-1</sup> )	1.593.575	2.411.035	2.583.658	25.841,66
Volume tratado não-conforme (m <sup>3</sup> .mês <sup>-1</sup> )	990.600	173.140	517	2.558.333

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Assim a aplicação da metodologia Seis Sigma e a quantificação das possibilidade de erro podem auxiliar na melhoria do desempenho operacional de processos da ETA, conforme demonstrado na simulação, onde com uma produção de 2,58 milhões de m<sup>3</sup>/mês, o volume de água produzido na ETA em conformidade seria de aproximadamente 1,95 milhões de m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup> e o volume não-conforme seria de 990,6 mil de m<sup>3</sup>/mês. Caso a ETA obtenha um nível Seis Sigma de excelência, a operação de tratamento de água deveria apresentar apenas 3,4 defeitos a cada um milhão de oportunidades, resultando em um rendimento de 99,9997%. Nestas condições, o volume de água produzido em conformidade seria de 2,58 milhões de m<sup>3</sup>/mês e o volume não conforme seria de apenas 7,75 m<sup>3</sup>/mês.

### **Análise individualizada do nível sigma**

Realizando a análise do trabalho publicado por Pohlmann et al. (2015), e comparando com os trabalhos de Pande et al. (2001) e Sadraqui et al. (2010), evidencia-se a possibilidade de inserir para efeito da análise individualizada do desempenho das operações unitárias da ETA o cálculo do nível sigma vinculado a cada etapa do processo produtivo. Assim, o gestor da ETA poderá comparar e avaliar o desempenho de cada operação unitária e verificar qual deve ser a etapa a ser melhorada, conforme o demonstrativo da simulação evidenciando os diferentes desempenhos na Tabela 2.



**TABELA 2**  
DPMO, NÍVEL SIGMA E RENDIMENTO DAS OPERAÇÕES UNITÁRIAS DA ETA

<b>Etapas da ETA</b>			<b>DPMO</b>	<b>% defeitos</b>	<b>%normal</b>	<b>Sigma</b>	
<b>Operações unitárias</b>	<b>CG</b>	a	66066	7%	99,93	3,01	
		b	69069	7%	99,93	2,98	
		c	24024	2%	99,98	3,48	
	<b>FLC</b>	D	63063	6%	99,94	3,03	
		e	42042	4%	99,96	3,23	
		F	60060	6%	99,94	3,05	
	<b>DEC</b>	g	30030	3%	99,97	3,38	
		h	24024	2%	99,98	3,48	
		i	63063	6%	99,94	3,03	
		j	42042	4%	99,96	3,23	
		k	60060	6%	99,94	3,05	
		<b>FLT</b>	l	30030	3%	99,97	3,38
	m		42042	4%	99,96	3,23	
	<b>DES</b>		n	60060	6%	99,94	3,05
		o	30030	3%	99,97	3,38	
		p	42042	4%	99,96	3,23	
		Q	60060	6%	99,94	3,05	
		<b>FLU</b>	r	30030	3%	99,97	3,38
			s	42042	4%	99,96	3,23
	t		60060	6%	99,94	3,05	
<b>CQ</b>	u	30030	3%	99,97	3,38		
	v	30030	3%	99,97	3,38		
	<b>OP</b>		616.667	62%	38%	1,2	

Legenda: vide Quadro 3: Matriz de verificação de oportunidades de defeitos

FONTE: PRÓPRIO AUTOR.

Com a análise da Tabela 2, é possível identificar a variação do DPMO presente em cada etapa do processo produtivo de uma ETA, bem como especificar sua eficiência e nível sigma. Para esse exemplo, a etapa que apresentou melhor desempenho foi a subcategoria: h: Baixa velocidade de sedimentação da categoria DEC: Decantação com nível sigma 3,48. Já a subcategoria com pior avaliação foi b: Elevado custo operacional da categoria CG: Coagulação.

Este estudo representa uma legítima iniciativa para implementar o Seis Sigma como uma ferramenta na gestão operacional das ETAs, sendo possível verificar que os principais benefícios para a sociedade advindos da aplicação do Seis Sigma no tratamento de água em ETAs incluem, segundo Pohlmann et al. (2015): atendimento dos padrões de potabilidade e melhoria da qualidade da água, especialmente nas localidades nas quais a gestão das ETAs é ineficiente; redução dos custos operacionais e do preço da tarifa; e redução de eventuais paralisações no abastecimento em consequência de falhas ou imperfeições no processo.

## CONCLUSÃO

O estudo apresenta uma aplicação da metodologia Seis Sigma a uma ETA. Os resultados obtidos demonstram que a evolução pode ser gradativa, pois para uma produção de 2,58 milhões de m<sup>3</sup>/mês, o volume de água produzido na ETA em conformidade seria de



aproximadamente 1,95 milhões de m<sup>3</sup>/mês e o volume não conforme seria de 990,6 mil de m<sup>3</sup>/mês. Caso a ETA obtenha um nível Seis Sigma de excelência, a operação de tratamento de água deveria apresentar apenas 3,4 defeitos a cada um milhão de oportunidades, resultando em um rendimento de 99,9997%. Nestas condições, o volume de água produzido em conformidade seria de 2,58 milhões de m<sup>3</sup>/mês e o volume não conforme seria de apenas 7,75 m<sup>3</sup>/mês.

Também são apresentados os cálculos referentes a cada etapa do processo de tratamento, permitindo aos engenheiros responsáveis pela ETA a monitoração individualizada do processo de tratamento, fator esse que pode ajudar a obtenção dos seguintes benefícios: fornecimento de uma poderosa ferramenta no controle da variabilidade e das não-conformidades; desenvolvimento de um método sistemático para a abordagem e resolução de problemas; redução no desperdício de recursos (tempo, agentes químicos, energia e recursos humanos); estabelecimento de uma metodologia rigorosa e sistemática para a coleta de dados; e redução da variabilidade e das não conformidades.

A redução das não conformidades ao longo do processo produtivo é fundamental para o atendimento aos requisitos de potabilidade da água e esse estudo reforça os resultados obtidos por Pohlmann et al. (2015) acrescentando ao seu estudo o cálculo do DPMO, eficiência e nível sigma para a cada etapa do processo produtivo das ETAs, corroborando aos benefícios por eles levantados: redução dos custos operacionais e do preço da tarifa; e redução de eventuais paralisações no abastecimento em consequência de falhas ou imperfeições no processo.

Os possíveis resultados a serem obtidos pela implantação da metodologia Seis Sigma podem expandidos a outras áreas ligadas as ETAs como a geração de lodo, sendo está uma área para novos estudos.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT]. (2004). *NBR: 10.004*. Rio de Janeiro.
- Achon, C. L. (2008). *Ecoeficiência de sistemas de tratamento de água e luz dos conceitos da ISSO 14.001* (Tese de doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Achon, C. L., Barroso, M. M., & CORDEIRO, J. S. (2013). Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 18(2), 115-122.
- Andreoli, C. V. (2001). *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. RiMa / ABES / PROSAB.
- Andrietta, J., & Miguel, P. (2002). A importância do método Seis Sigma na gestão da qualidade analisada sob uma abordagem Teórica. *Revista de ciência e tecnologia*, 11(20), 91-98.

- Andrietta, J., & Miguel, P. (2007). Aplicação do programa Seis Sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras. *Gestão & Produção*, 14(2), 203-219.
- Cavalcante, F. (2011). *Lean six sigma aplicado a uma empresa do setor de embalagens* (TCC de Graduação). Universidade Estadual Paulista.
- Davis, M. L. (2010). *Water and wastewater engineering: design principles and practice*. McGraw-Hill.
- Goh, T. N. (2002). A strategic assessment of six sigma. *Quality and Reliability Engineering International*, 18(5), 403-410.
- Heller, L., & Pádua, V. L. (2006). Abastecimento de água para consumo humano. UFMG.
- Jordão, E. P. (2009). Para o prof. Jordão da UFRJ: uso benéfico do lodo traria ganhos ambientais (Entrevista com Eduardo Pacheco Jordão). *Revista Saneas*, 10(32), 5 – 6.
- Kaushik, P., & Khanduja, D. (2008). DM make up water reduction in thermal power plants using Six Sigma DMAIC methodology. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 67(1), 36-42.
- Kaushik, P., & Khanduja, D. (2009). Application of six sigma DMAIC methodology in thermal power plants: a case study. *Total Quality Management and Business Excellence*, 20(2), 197-207.
- Kawamura, S. (2000). *Integrated design and operation of water treatment facilities*. John Wiley & Sons.
- Macedo, J. A. B. (2007). *Águas & Águas*. CRQ – MG.
- Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2001). *Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho*. Qualitymark.
- Pohlmann, P. H. M., Francisco, A. A., Ferreira, M. A., & Jabbour, C. J. C. (2015). Tratamento de água para abastecimento humano: contribuições da metodologia Seis Sigma. *Eng Sanit Ambient.*, 20(3), 485-492.
- Ritcher, C. (2009). *Água Métodos e Tecnologia de Tratamento*. Blucher.
- Rodrigues, M. (2006). *Ações para a qualidade*. Campus.
- Sadraoui, T., Afef, A., & Faya, J. (2010) Six Sigma: A new practice for reducing water consumption within Coca Cola industry. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 6(1-2), 53-76.
- Santos, A. B. (2006). *Modelo de referência para estruturar o programa de qualidade Seis Sigma: proposta e avaliação* (Tese de doutorado). Universidade Federal de São Carlos.
- Silva, M. S., Döll, M. M., Wiechetek, G. K., Rodrigues, R. N., & Oroski, F. I. (2013). Estimativa da qualidade de lodo produzido no tratamento de água do tipo convencional e Actiflo: comparação de metodologias. In *Anais do 8º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais*, Ponta Grossa, PR.
- United Nations Development Programme [UNDP] (2006). *Human Development Report. Beyond Scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. New York.
- Watson, G.H. (2001). Cycles of learning: observations of Jack Welch. *ASQ Publication*, 1(1), 45-58.
- Yang, K., & El-Haik, B. (2008). *Projeto para Seis Sigma: um roteiro para o desenvolvimento do produto*. Educator.



---

**INFORMAÇÕES ACADÊMICAS E PROFISSIONAIS DA AUTORIA****GABRIELE LOPES SILVA**

Bacharel em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.  
ORCID iD: 0000-0001-7460-7778 | ID Lattes: 0267442675779431  
E-mail: gabrielelopes.silva1@gmail.com (autor correspondente)

**MARCO ANTÔNIO FERREIRA**

Doutor em Administração, Universidade de São Paulo, Brasil.  
Mestre em Administração, Universidade Estadual de Maringá, Brasil.  
Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá, Brasil.  
Docente do Programa de Pós-Graduação em Administração Pública pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.  
ORCID iD: 0000-0003-1760-2246 | ID Lattes: 3451649375977152  
E-mail: adm.marcoferreira@gmail.com

**REGINALDO FIDELIS**

Doutor em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil.  
Mestre em Ensino de Ciência e Educação Matemática, Universidade Estadual de Londrina, Brasil.  
Docente no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Estadual de Londrina, Brasil.  
ORCID iD: 0000-0003-0702-6353 | ID Lattes: 6658808982677974  
E-mail: reginaldo@utfpr.edu.br

**CONTRIBUIÇÃO E ATUAÇÃO EM ATIVIDADES DE AUTORIA****GABRIELE LOPES SILVA**

Contribuiu e atuou igualmente, em relação à equipe de autoria, nas atividades envolvidas com Definições / Conceitos / Teorias, Pesquisa / Seleção / Organização / Administração dos Dados, Exame Pormenorizado / Avaliação Crítica / Validação dos Dados, Descrição e Delimitação dos Procedimentos Metodológicos, Responsabilização na Pesquisa Documentada no Artigo Submetido, Escolha e Manuseio de Software e Redação do Texto.

**MARCO ANTÔNIO FERREIRA**

Orientou atividades envolvidas com Definições / Conceitos / Teorias, Pesquisa / Seleção / Organização / Administração dos Dados, Exame Pormenorizado / Avaliação Crítica / Validação dos Dados, Descrição e Delimitação dos Procedimentos Metodológicos, Responsabilização na Pesquisa Documentada no Artigo Submetido, Escolha e Manuseio de Software e Redação do Texto.

**REGINALDO FIDELIS**

Contribuiu e atuou igualmente, em relação à equipe de autoria, nas atividades envolvidas com Definições / Conceitos / Teorias, Pesquisa / Seleção / Organização / Administração dos Dados, Exame Pormenorizado / Avaliação Crítica / Validação dos Dados, Descrição e Delimitação dos Procedimentos Metodológicos, Responsabilização na Pesquisa Documentada no Artigo Submetido, Escolha e Manuseio de Software e Redação do Texto.

**DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSES DA AUTORIA****GABRIELE LOPES SILVA**

Declarou não possuir conflitos de interesse verdadeiro (factual), possível (potencial), de ordem financeira, de ordem pessoal, de ordem acadêmica, relacionado à afiliação institucional, de ordem política e de ordem religiosa. Além dos questionados, declarou não possuir outros conflitos de interesses.

**MARCO ANTÔNIO FERREIRA**

Declarou não possuir conflitos de interesse verdadeiro (factual), possível (potencial), de ordem financeira, de ordem pessoal, de ordem acadêmica, relacionado à afiliação institucional, de ordem política e de ordem religiosa. Além dos questionados, declarou não possuir outros conflitos de interesses.

**REGINALDO FIDELIS**

Declarou não possuir conflitos de interesse verdadeiro (factual), possível (potencial), de ordem financeira, de ordem pessoal, de ordem acadêmica, relacionado à afiliação institucional, de ordem política e de ordem religiosa. Além dos questionados, declarou não possuir outros conflitos de interesses.