

Quadro 20 - Dados após exclusão de outliers e extremos - Resultados do teste de comparação de médias do **Fitoplâncton** (cél/mL) entre as três diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE.

Local	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor #			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Min.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
P1	Antes	58	308,88	358,92	12	1675	41,85	0	3,12	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	18	4314,72	3408,49	196	11606				
	Depois	9	1040,44	1198,00	138	3141				
P2	Antes	61	436,34	596,22	16	2872	34,41	0	3,12	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	18	3873,00	3181,53	147	10585				
	Depois	9	1009,11	1104,37	90	3118				
P3	Antes	58	348,90	466,16	8	2051	37,00	0	3,12	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	18	3787,67	3034,06	321	10574				
	Depois	9	998,89	1192,58	124	3054				
P4	Antes	56	526,70	787,01	17	3673	35,47	0	3,12	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	18	4120,39	3047,66	211	10461				
	Depois	9	932,00	1024,60	158	2690				
P5	Antes	55	427,64	585,65	0	2449	24,84	0	3,12	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	18	3597,39	3050,72	91	9682				
	Depois	9	1320,33	2238,09	112	6900				
P6	Antes	48	348,58	447,18	6	1846	23,98	0	3,13	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	18	4613,56	4428,20	203	12309				
	Depois	9	1219,56	1401,61	141	3760				

Se $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ então as médias são significativamente IGUAIS.

3.2.4 Estatística Descritiva e Comparação de Médias, Comportamento Temporal dos Parâmetros de Qualidade da Água e Análise da Variabilidade - Avaliação Global da Lagoa (Pontos de Amostragem Agrupados - Dados Originais)

Para esse tipo de análise os resultados dos parâmetros de monitoramento de cada ponto de amostragem foram agrupados para representar a Lagoa. Assim, em cada data de coleta de amostra, os valores de cada parâmetro resultantes das análises de laboratório passaram a constituir um conjunto de 6 valores (não a média do conjunto de valores) para a Lagoa, conforme ilustrado na Figura 34.

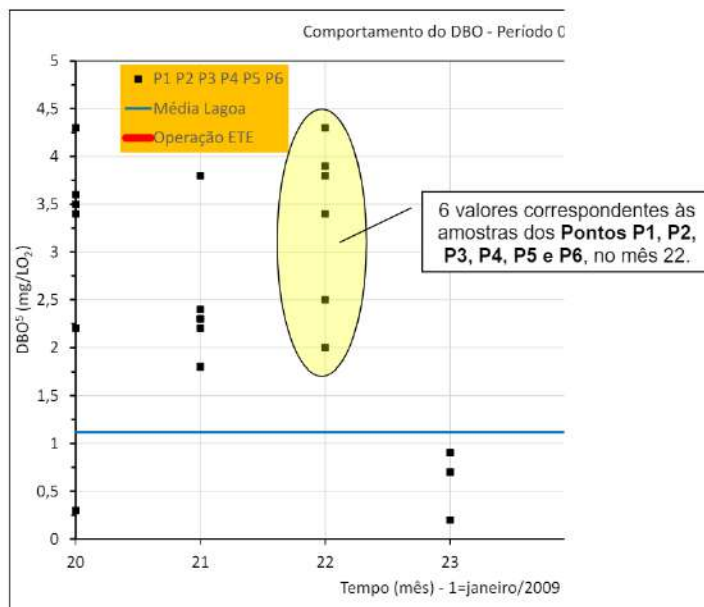


Figura 34 - Detalhe de agrupamentos dos valores dos parâmetros de qualidade da água na Lagoa dos Barros. Os 6 valores individualizados, sem discriminação dos pontos de amostragem, na data da coleta da amostra, foram usados para o cálculo da MÉDIA GERAL.

Esse agrupamento de dados permitiu uma avaliação global do comportamento dos diferentes parâmetros de qualidade da água monitorados ao longo do tempo, considerando a Lagoa como um "corpo homogêneo".

Para a observação do comportamento dos diferentes parâmetros analisados em laboratório ao longo do tempo, num período de 141 meses, a série histórica de análises de amostras de água foi plotada em gráficos de dispersão (XY). Nesse mesmo gráfico a **linha azul** representa a MÉDIA GERAL do parâmetro em análise para a Lagoa, tendo como base de dados **TODOS** os resultados disponíveis (de **TODOS** os pontos de

amostragem na Lagoa e de **TODOS** os períodos). Para melhor localizar temporalmente o período de amostragem em relação à **operação da ETE**, o intervalo correspondente ao período de operação da ETE (entre dezembro/2018 e maio/2020) também está representado nos gráficos por uma **linha vermelha** (—) sobre o eixo X ou por duas **linhas verticais vermelhas pontilhadas** (— · —) (*meses 120 e 137 na escala utilizada*). A técnica de representação de dados na forma de diagramas de caixas, por seu lado, foi empregada para a observação da variabilidade ou a dispersão dos resultados nos três períodos. Os dados agrupados por data de amostragem foram analisados por período de monitoramento em relação à operação da ETE, analogamente ao procedimento adotado quando os dados foram analisados individualizados por pontos de amostragem.

A síntese da estatística descritiva geral da Lagoa (sem a discriminação da fase de monitoramento em relação à operação da ETE) é apresentada no Quadro 21. Já os Quadros 22a, 22b e 22c apresentam a estatística descritiva e comparação entre médias considerando as diferentes fases em relação à operação da ETE. Os resultados utilizando as diferentes formas de representação gráfica podem ser vistos nas Figuras 35a/35b a 44a/44b. Para exemplificar, as Figuras **a)** mostram o comportamento temporal dos parâmetros analisados na Lagoa, enquanto as Figuras **b)** apresentam a variabilidade ou a dispersão dos dados em cada período em relação à operação da ETE e foram utilizados para a identificação dos dados outliers e extremos, para os seguintes parâmetros:

- DBO₅ (mg/L O₂) - Figuras 35a e 35b
- Fósforo Total (mg/L P) - Figuras 36a e 36b
- pH - Figuras 37a e 37b
- Oxigênio Dissolvido (mg/L O₂) - Figuras 38a e 38b
- *Escherichia coli* (NMP/100 mL) - Figuras 39a e 39b
- Cianobactérias (cél/mL) - Figuras 40a e 40b
- Clorofíceas (cél/mL) - Figuras 41a e 41b
- Diatomáceas (cél/mL) - Figuras 42a e 42b
- Fitoflagelados (cél/mL) - Figuras 43a e 43b
- Fitoplâncton (cél/mL) - Figuras 44a e 44b

Quadro 21 - Análise global da Lagoa - Dados originais - Estatística descritiva.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva				
		Nº de Amostras	MÉDIA GERAL	Desvio Padrão	Min.	Máx.
DBO ₅ [#] (mg/L O ₂)	2 fases agrupadas.	474	1,12	1,19	0	7,9
DBO ₅ ^{##} (mg/L O ₂)	3 fases agrupadas.	557	1,10	1,12	0	7,9
Fósforo Total (mg/L P)		560	0,06	0,02	0,02	0,34
pH		554	7,28	0,66	4,9	9,0
Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)		554	8,44	1,05	1,8	12,0
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		557	55,14	409,73	0,5	9050
Cianobactérias (cél/mL)		561	496,13	1320,85	0	13376
Clorofíceas (cél/mL)		561	81,86	252,80	0	2809
Diatomáceas (cél/mL)		561	833,64	1440,66	0	11858
Fitoflagelados (cél/mL)		561	275,81	830,58	0	8515
Fitoplâncton (cél/mL)		558	1693,09	2579,92	0	15099

[#] NÃO inclui os dados após o mês 133=janeiro/2020, designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0.

^{##} Inclui os dados após o mês 133=janeiro/2020, designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0, definidos como =0,7 e =2,0 para as análises estatísticas.

Quadro 22a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Resultados dos testes de comparação de médias entre as diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias - Parâmetros da Estatística t de Student [#]		
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	t _{calculado}	t _{crítico}	Interpretação
DBO ₅ (mg/LO ₂) NÃO inclui dados designados com <0,7 e <2,0 após o mês 133=janeiro/2020.	Antes	395	1,13	1,18	0	7,90	0,72	1,96	Médias são significativamente IGUAIS.
	Durante	79	1,03	1,23	0,30	6,40			

[#] Se $t_{\text{calculado}} < t_{\text{crítico}}$ então as médias são significativamente IGUAIS.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor ^{##}			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
DBO ₅ (mg/LO ₂) Inclui dados designados com <0,7=0,7 após o mês 133=janeiro/2020.	Antes	395	1,13	1,18	0	7,9	3,51	0,031	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	101	0,96	1,10	0,3	6,4				
	Depois	43	0,70	0	0,7	0,7				
DBO ₅ (mg/LO ₂) Inclui dados designados com <0,7=0,7 e <2,0=2,0 após o mês 133=janeiro/2020.	Antes	395	1,13	1,18	0	7,9	0,82	0,442	3,01	Médias são significativamente IGUAIS.
	Durante	108	1,02	1,09	0,3	6,4				
	Depois	54	0,96	0,53	0,7	2,0				

^{##} Se $F_{\text{calculado}} < F_{\text{crítico}}$ então as médias são significativamente IGUAIS.

Quadro 22b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Resultados dos testes de comparação de médias entre as diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor #			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
Fósforo Total (mg/L P)	Antes	398	0,06	0,03	0,02	0,34	29,57	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	0,05	0,01	0,02	0,09				
	Depois	54	0,08	0,01	0,07	0,11				
pH	Antes	392	7,11	0,67	4,9	9,0	51,24	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	7,67	0,43	6,7	8,9				
	Depois	54	7,69	0,36	6,3	8,4				
Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)	Antes	392	8,45	1,16	1,8	12,0	0,14	0,865	3,01	Médias são significativamente IGUAIS.
	Durante	108	8,39	0,62	7,4	10,0				
	Depois	54	8,46	0,84	7,0	10,0				
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Antes	395	66,80	478,16	0,5	9050	0,72	0,485	3,01	Médias são significativamente IGUAIS.
	Durante	108	13,22	31,66	0,5	225				
	Depois	54	53,69	234,23	0,5	1725				

Se F_{calculado} < F_{crítico} então as médias são significativamente IGUAIS.

Quadro 22c - Análise global da Lagoa - Dados originais - Resultados dos testes de comparação de médias entre as diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor #			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
Cianobactérias (cél/mL)	Antes	399	392,31	1130,11	0	13376	14,87	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	1078,36	1944,94	0	9500				
	Depois	54	98,85	522,95	0	3846				
Clorofíceas (cél/mL)	Antes	399	44,12	128,02	0	1714	34,84	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	253,48	485,56	0	2809				
	Depois	54	17,50	35,12	0	191				
Diatomáceas (cél/mL)	Antes	399	439,05	837,15	0	4267	89,21	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	2258,40	2263,65	6	11858				
	Depois	54	899,70	1004,51	56	3033				
Fitoflagelados (cél/mL)	Antes	399	253,48	867,03	0	8515	4,53	0,011	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	460,88	860,50	0	4348				
	Depois	54	70,67	180,97	0	1239				
Fitoplâncton (cél/mL)	Antes	396	1132,68	2060,31	0	15099	69,76	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	4051,12	3332,23	91	12309				
	Depois	54	1086,72	1358,49	90	6900				

Se $F_{\text{calculado}} < F_{\text{crítico}}$ então as médias são significativamente IGUAIS.

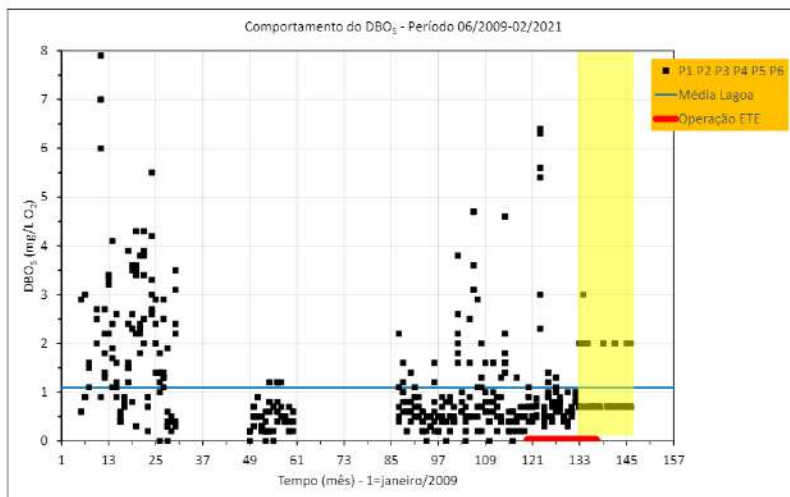


Figura 35a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento do DBO_5 no período entre junho/2009 e fevereiro/2020, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE. (Nota: na zona hachurada, os dados após o mês 133=janeiro/2020 designados nas análises de laboratório como $<0,7$ ou $<2,0$ foram definidos como $=0,7$ e $=2,0$ para fins de representação gráfica e tratamento estatístico).

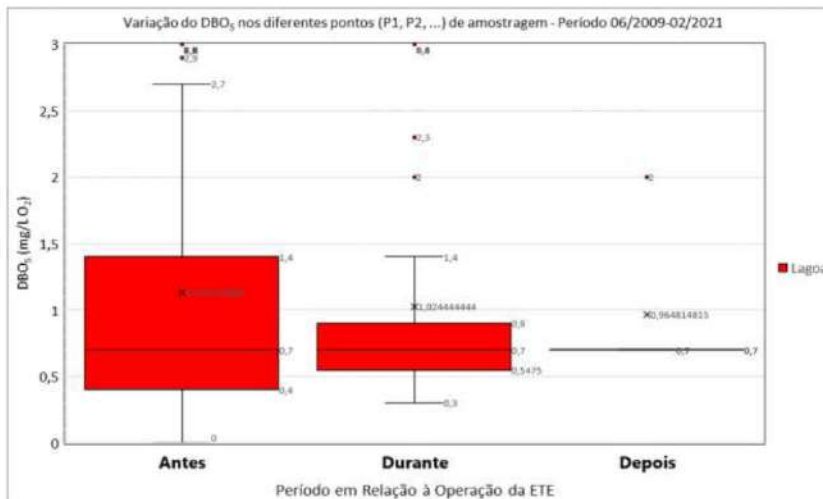


Figura 35b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* do DBO_5 nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

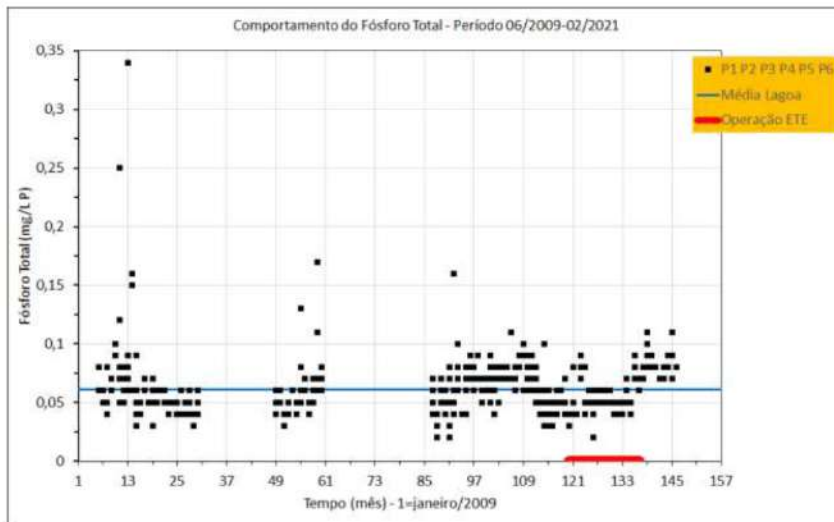


Figura 36a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento do **Fósforo Total** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

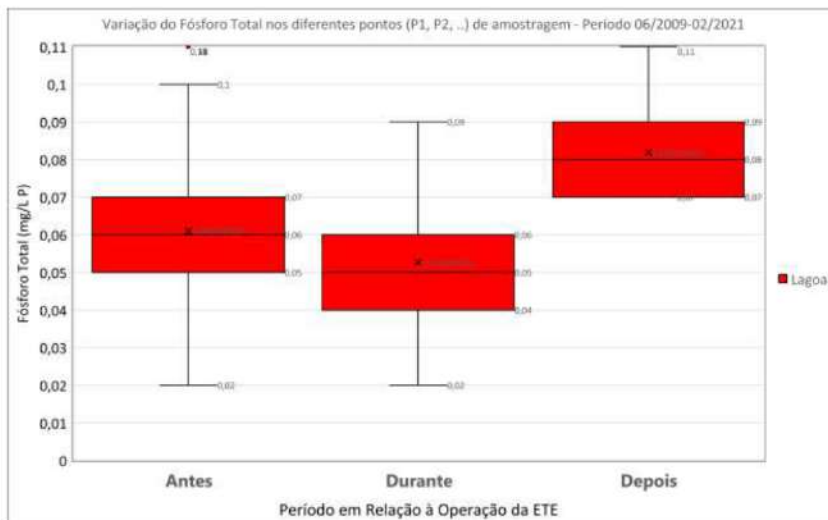


Figura 36b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* do **Fósforo Total** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

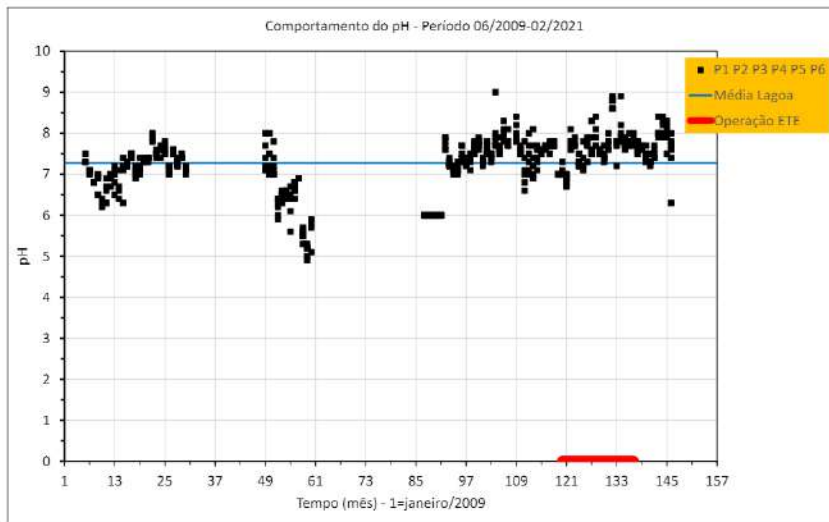


Figura 37a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento do pH no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

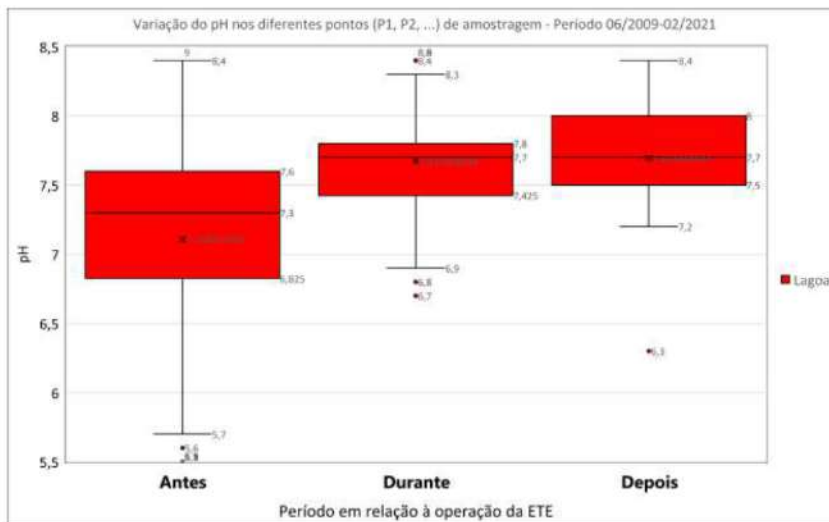


Figura 37b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* do pH nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

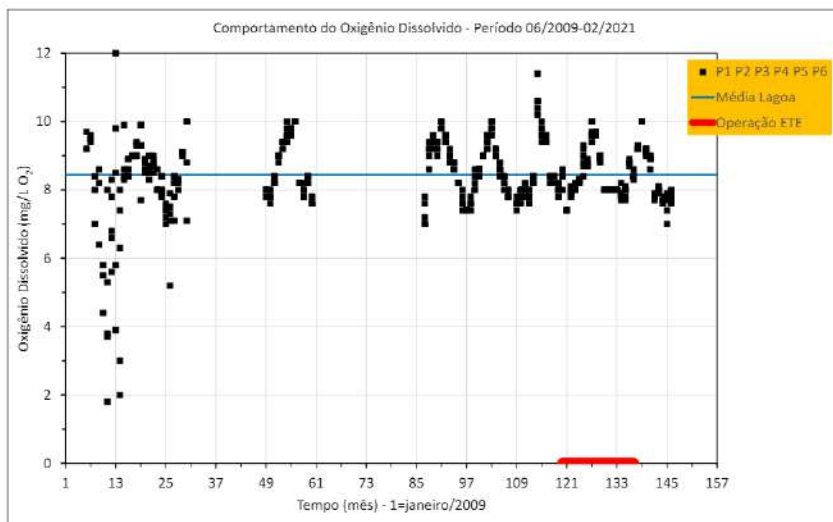


Figura 38a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento do **Oxigênio Dissolvido** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

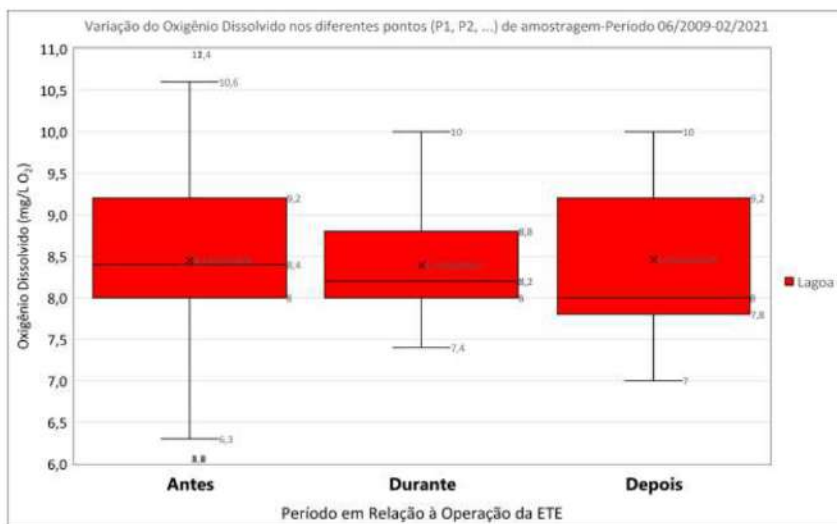


Figura 38b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* do **Oxigênio Dissolvido** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

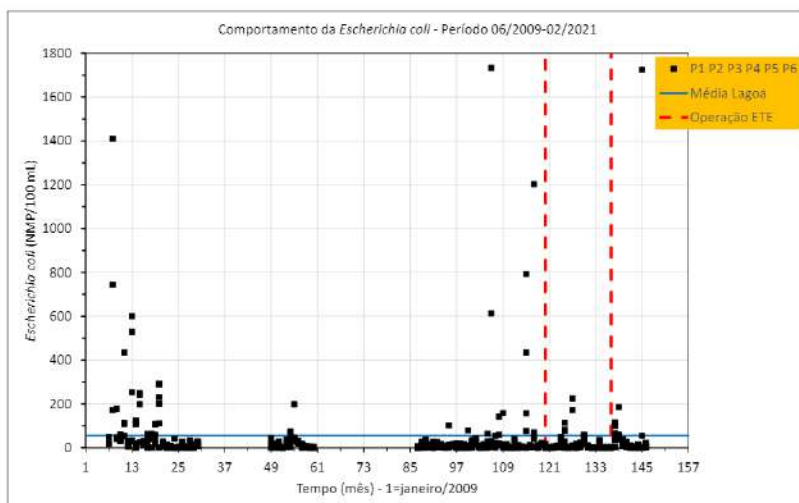


Figura 39a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento da **Escherichia coli** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE (Nota: o valor do P5, mês 15 (9050) não está representado devido à escala gráfica).

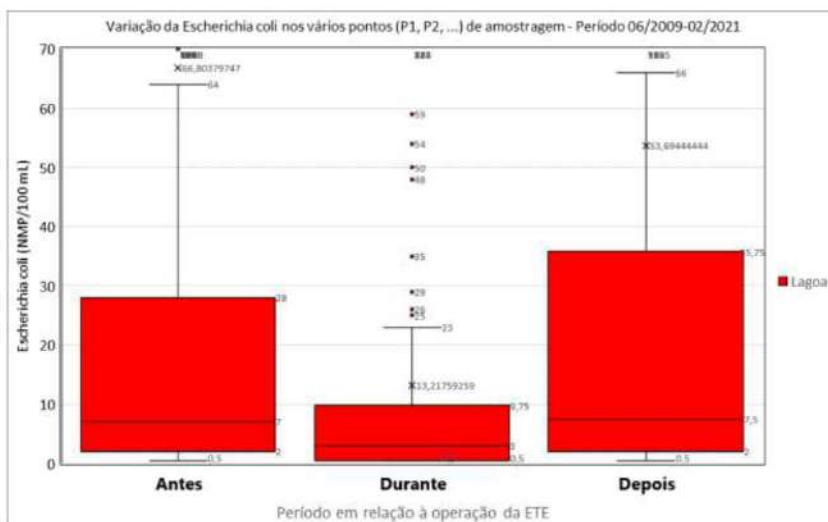


Figura 39b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados **outliers** da **Escherichia coli** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

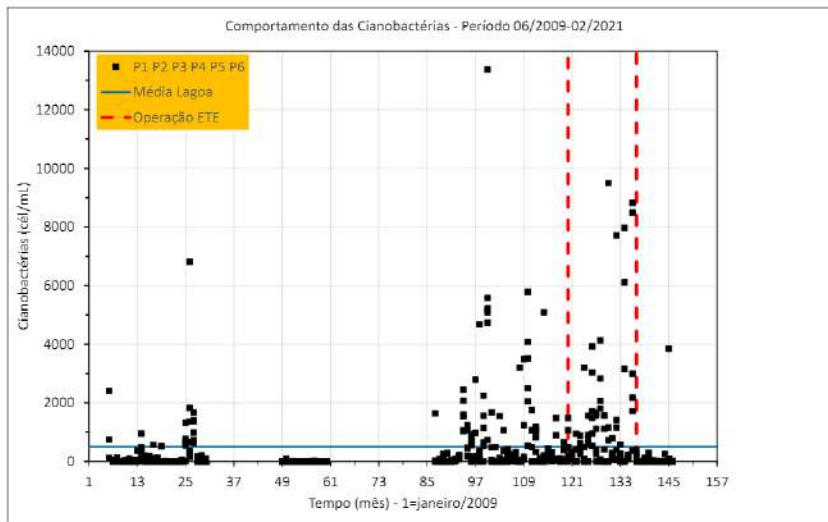


Figura 40a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das **Cianobactérias** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

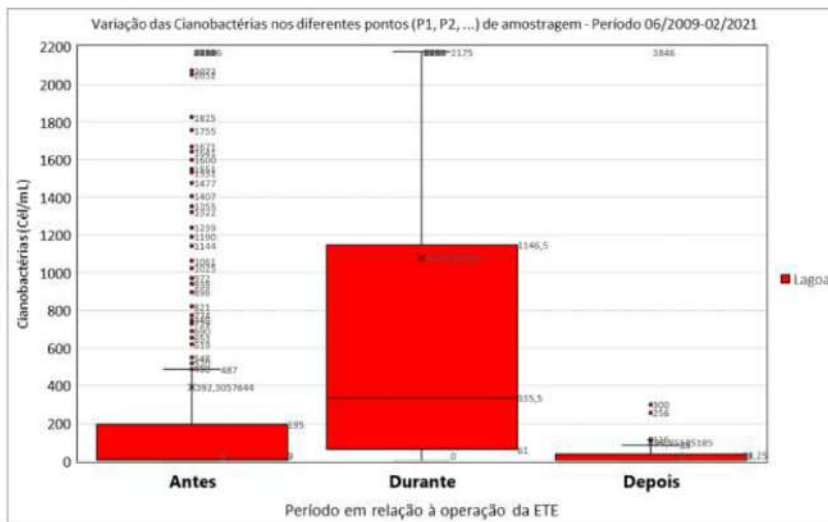


Figura 40b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* das **Cianobactérias** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

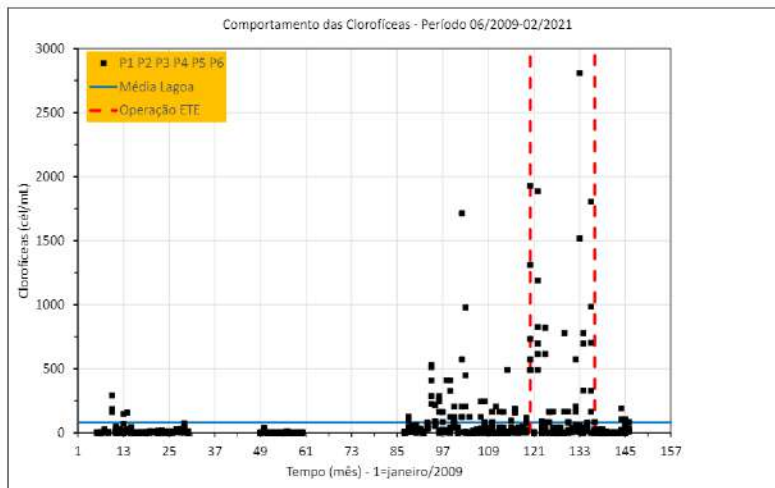


Figura 41a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das **Clorofíceas** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

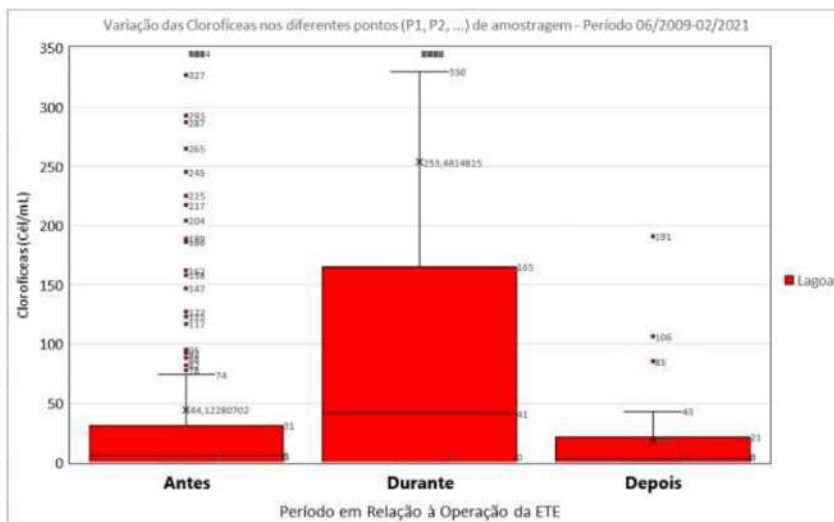


Figura 41b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* das **Clorofíceas** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

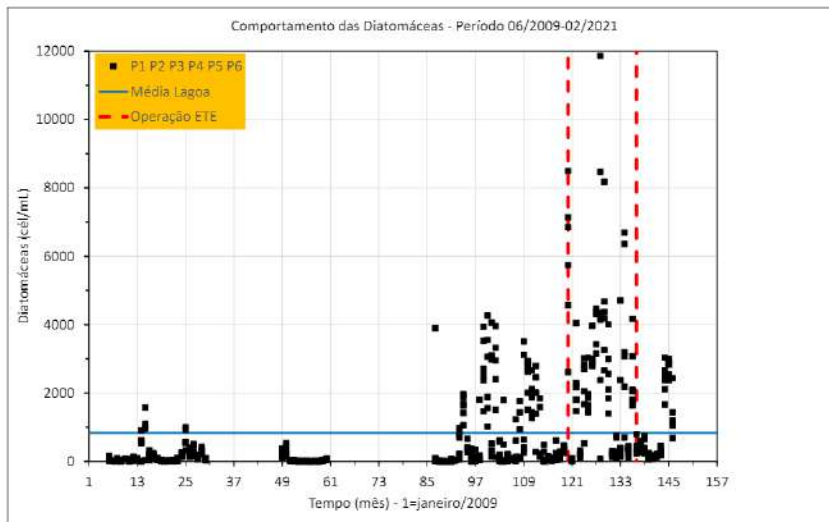


Figura 42a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das **Diatomáceas** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

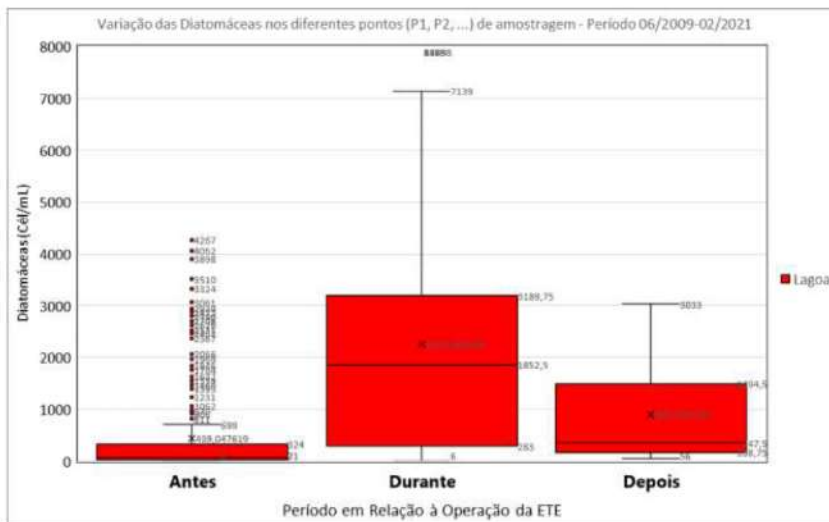


Figura 42b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* das **Diatomáceas** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

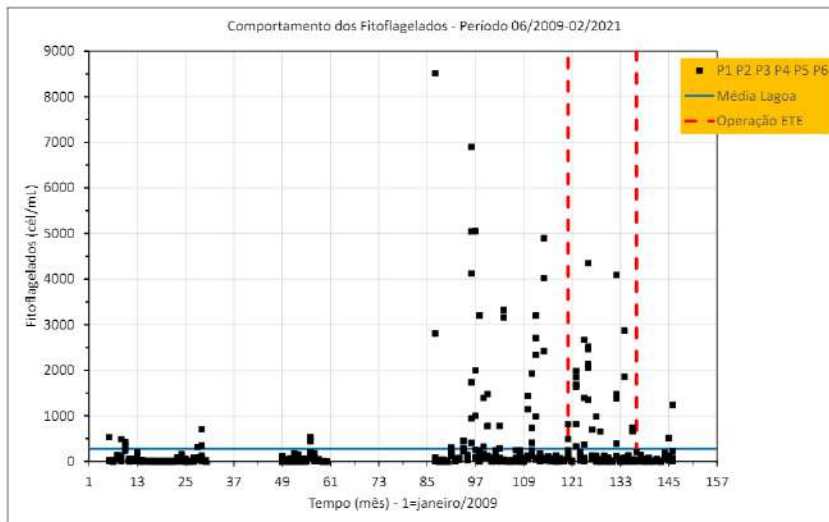


Figura 43a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento dos **Fitoflagelados** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

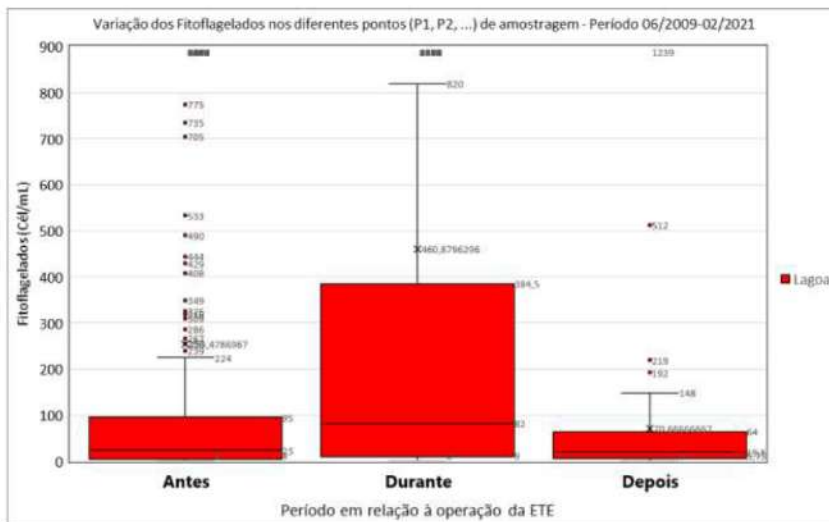


Figura 43b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* dos **Fitoflagelados** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

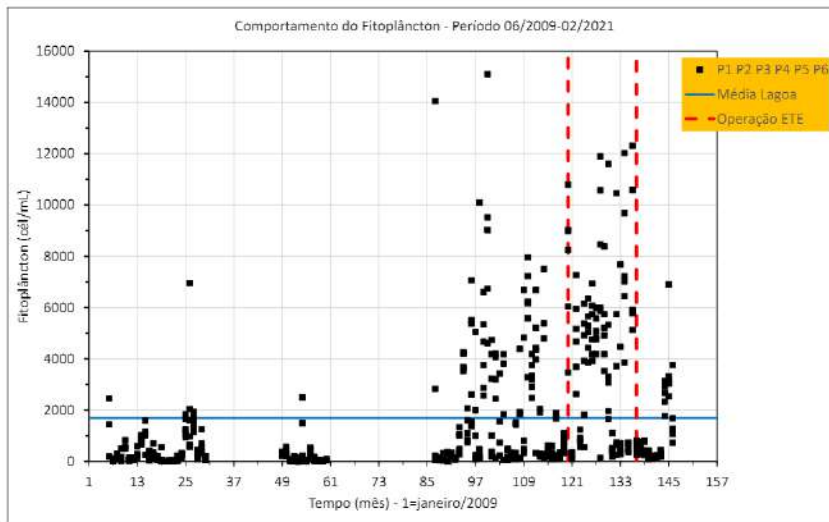


Figura 44a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento do **Fitoplâncton** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

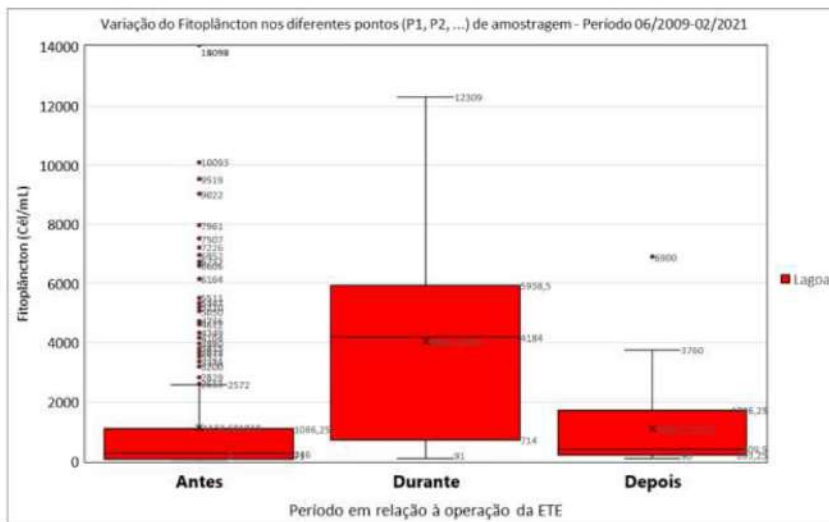


Figura 44b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade para a identificação dos resultados *outliers* do **Fitoplâncton** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

3.2.5 Estatística Descritiva e Comparação de Médias e Análise da Variabilidade - Avaliação Global da Lagoa (Pontos de Amostragem Agrupados - Dados "Filtrados")

Essas análises foram realizadas com o conjunto global de dados de cada parâmetro, agrupando-se os dados dos pontos de amostragem por data de coleta das amostras, conforme descrito anteriormente (**Item 3.2.4**). As análises estatísticas descritivas e comparação de médias foram feitas após a aplicação do filtro (exclusão) daqueles valores considerados outliers (expúrios) e extremos.

As técnicas estatísticas adotadas para comparação de médias foram as mesmas empregadas nas análises considerando os dados individualizados por ponto de amostragem. Na análise global, a qualidade da água é observada considerando a Lagoa um "corpo homogêneo", discriminando os 3 períodos ou fases de amostragem/monitoramento em relação à operação da ETE (**1 - antes da operação; 2 - durante a operação e; 3 - depois da operação**).

A síntese da estatística descritiva global da Lagoa (sem a discriminação da fase de monitoramento) é apresentada no Quadro 23. Já os resultados dos diferentes testes aplicados para comparação das médias entre os diferentes períodos de monitoramento em relação à operação da ETE podem ser vistos nos Quadros 24a, 24b e 24c. As informações nesses quadros incluem a estatística descritiva, os parâmetros resultantes dos testes de comparação de médias e a interpretação dos resultados. A faixa de variação dos dados utilizados nas análises, após a exclusão dos valores outliers e extremos, é apresentada graficamente nas Figuras 45 a 54, para os seguintes parâmetros:

- DBO₅ (mg/L O₂) - Quadro 24a e Figura 45
- Fósforo Total (mg/L P) - Quadro 24b e Figura 46
- pH - Quadro 24b e Figura 47
- Oxigênio Dissolvido (mg/L O₂) - Quadro 24b e Figura 48
- *Escherichia coli* (NMP/100 mL) - Quadro 24b e Figura 49
- Cianobactérias (cél/mL) - Quadro 24c e Figura 50
- Clorofíceas (cél/mL) - Quadro 24c e Figura 51
- Diatomáceas (cél/mL) - Quadro 24c e Figura 52
- Fitoflagelados (cél/mL) - Quadro 24c e Figura 53
- Fitoplâncton (cél/mL) - Quadro 24c e Figura 54

Quadro 23 - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Estatística descritiva.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva				
		Nº de Amostras	MÉDIA GERAL	Desvio Padrão	Mín.	Máx.
DBO ₅ # (mg/L O ₂)	2 fases agrupadas.	428	0,80	0,59	0	2,70
DBO ₅ ## (mg/L O ₂)	3 fases agrupadas.	493	0,79	0,55	0	2,7
Fósforo Total (mg/L P)		548	0,06	0,02	0,02	0,11
pH		531	7,30	0,57	5,60	8,40
Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)		539	8,53	0,79	6,30	10,60
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		499	11,43	14,85	0,50	66
Cianobactérias (cél/mL)		471	127,43	301,06	0	2065
Clorofíceas (cél/mL)		477	16,75	35,87	0	330
Diatomáceas (cél/mL)		494	598,77	1174,91	0	7139
Fitoflagelados (cél/mL)		483	52,37	101,37	0	820
Fitoplâncton (cél/mL)		497	1224,78	2156,76	0	12020

NÃO inclui os dados após o mês 133=janeiro/2020, designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0.

Inclui os dados após o mês 133=janeiro/2020, designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0, definidos como =0,7 e =2,0 para as análises estatísticas.

Quadro 24a - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Resultados dos testes de comparação de médias entre as diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias - Parâmetros da Estatística t de Student #			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	t _{calculado}	t _{crítico}	Interpretação	
DBO ₅ (mg/LO ₂) NÃO inclui dados designados com <0,7 e <2,0 após o mês 133=janeiro/2020.	Antes	356	0,82	0,64	0	2,7	3,13	1,97	Médias significativamente DIFERENTES.	
	Durante	72	0,68	0,24	0,3	1,4				
# Se t _{calculado} < t _{crítico} então as médias são significativamente IGUAIS.										
Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor ##			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
DBO ₅ (mg/LO ₂) Inclui dados designados com <0,7=0,7 e <2,0=2,0 após o mês 133=janeiro/2020.	Antes	356	0,82	0,64	0	2,7	2,78	0,063	3,01	Médias são significativamente IGUAIS.
	Durante	94	0,69	0,21	0,3	1,4				
	Depois	43	0,70	0	0,7	0,7				
## Se F _{calculado} < F _{crítico} então as médias são significativamente IGUAIS.										

Quadro 24b - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Resultados dos testes de comparação de médias entre as diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor #			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
Fósforo Total (mg/L P)	Antes	387	0,06	0,02	0,02	0,10	71,66	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	0,05	0,01	0,02	0,09				
	Depois	53	0,08	0,01	0,07	0,11				
pH	Antes	380	7,16	0,59	5,6	8,4	48,13	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	98	7,61	0,31	6,9	8,3				
	Depois	53	7,72	0,31	7,2	8,4				
Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)	Antes	377	8,58	0,82	6,3	10,6	2,57	0,077	3,01	Médias são significativamente IGUAIS.
	Durante	108	8,39	0,62	7,4	10,0				
	Depois	54	8,46	0,84	7,0	10,0				
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Antes	356	12,79	15,24	0,5	64	15,69	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	93	4,06	5,53	0,5	23				
	Depois	50	15,47	19,13	0,5	66				

Se F_{calculado} < F_{crítico} então as médias são significativamente IGUAIS.

Quadro 24c - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Resultados dos testes de comparação de médias entre as diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor #			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Min.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
Cianobactérias (cél/mL)	Antes	328	51,62	99,18	0	487	95,65	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	94	451,05	538,69	0	2065				
	Depois	49	14,04	26,70	0	85				
Clorofíceas (cél/mL)	Antes	343	10,39	15,41	0	74	46,00	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	85	47,73	71,22	0	330				
	Depois	49	7,59	10,87	0	43				
Diatomáceas (cél/mL)	Antes	336	119,93	153,10	0	699	174,85	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	104	1989,51	1806,48	6	7139				
	Depois	54	899,70	1004,51	56	3033				
Fitoflagelados (cél/mL)	Antes	343	36,74	49,02	0	224	29,77	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	90	122,62	198,77	0	820				
	Depois	50	33,08	37,41	0	148				
Fitoplâncton (cél/mL)	Antes	338	404,88	546,43	0	2572	197,55	0	3,01	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	106	3963,05	3262,96	91	12020				
	Depois	53	977,04	1104,01	90	3760				

Se F_{calculado} < F_{crítico} então as médias são significativamente IGUAIS.

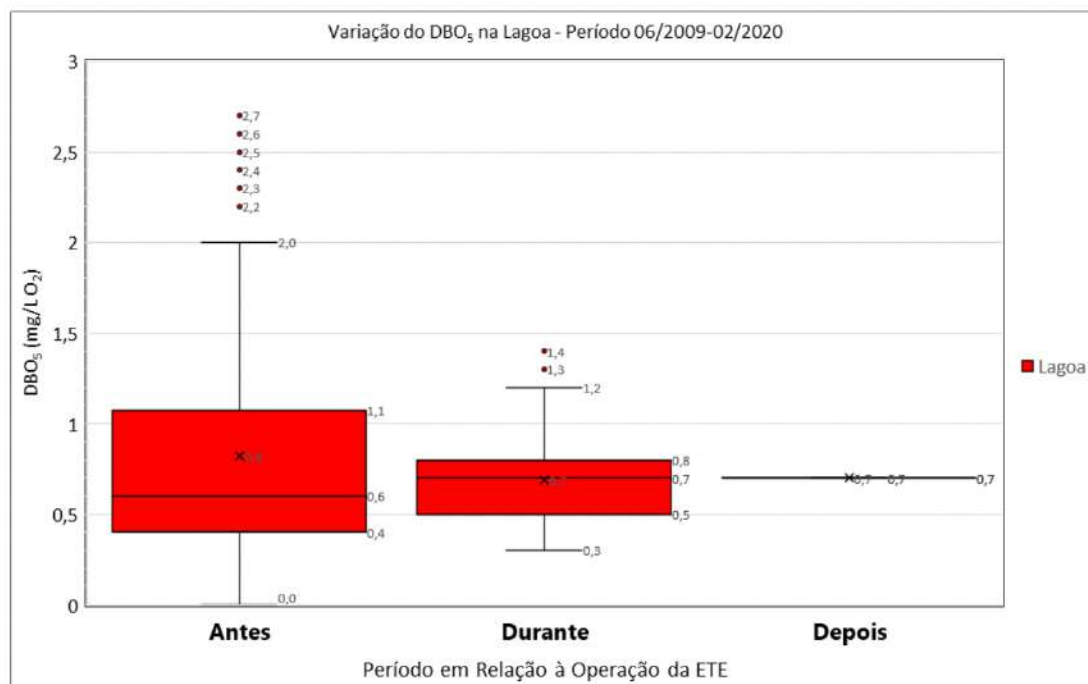


Figura 45 - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Representação da faixa de variação dos resultados do DBO₅ utilizados para a estatística descritiva e os testes de comparação de médias das diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE. (Nota: os dados após o mês 133=janeiro/2020 designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0 foram definidos como =0,7 e =2,0 para fins de representação gráfica e tratamento estatístico).

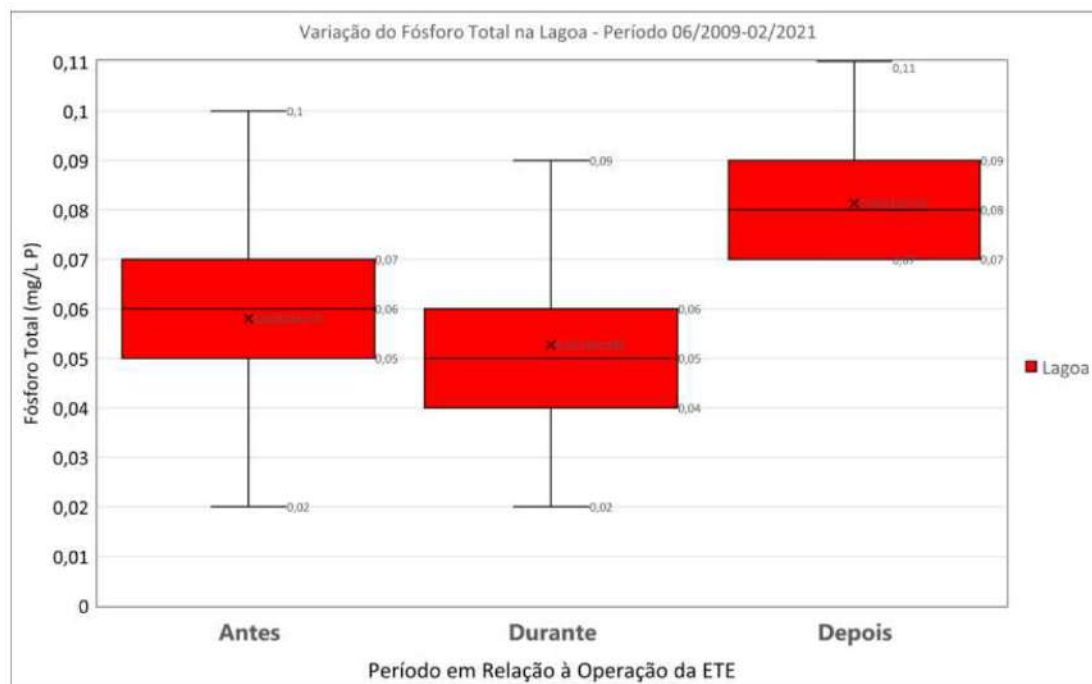


Figura 46 - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Representação da faixa de variação dos resultados do **Fósforo Total** utilizados para a estatística descritiva e os testes de comparação de médias das diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

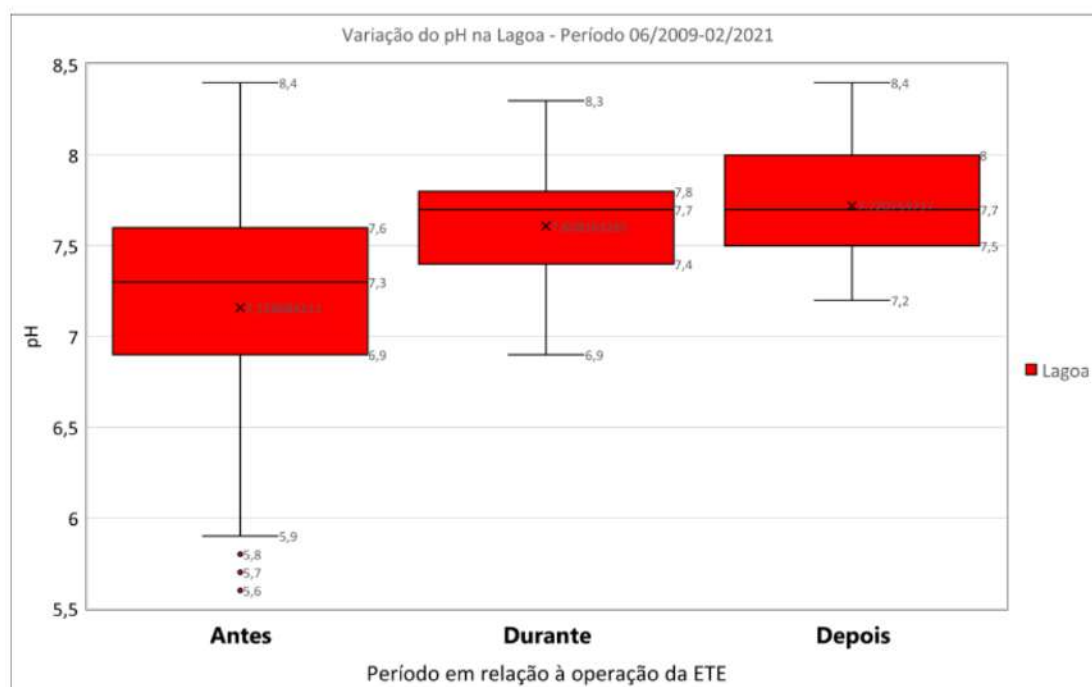


Figura 47 - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Representação da faixa de variação dos resultados do pH utilizados para a estatística descritiva e os testes de comparação de médias das diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

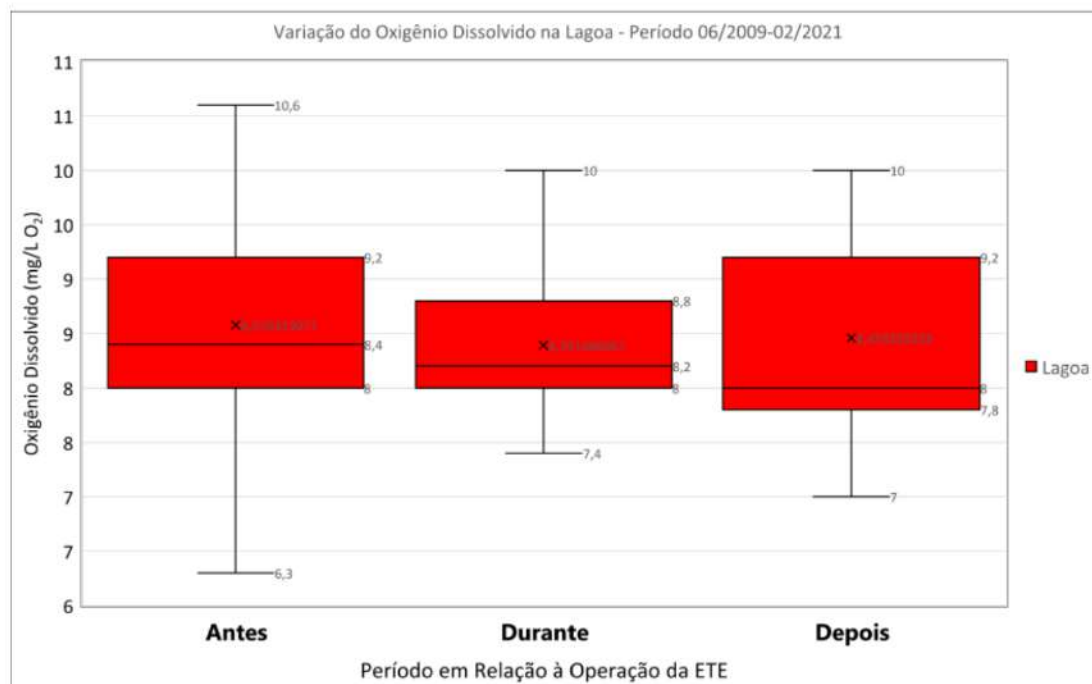


Figura 48 - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Representação da faixa de variação dos resultados do **Oxigênio Dissolvido** utilizados para a estatística descritiva e os testes de comparação de médias das diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

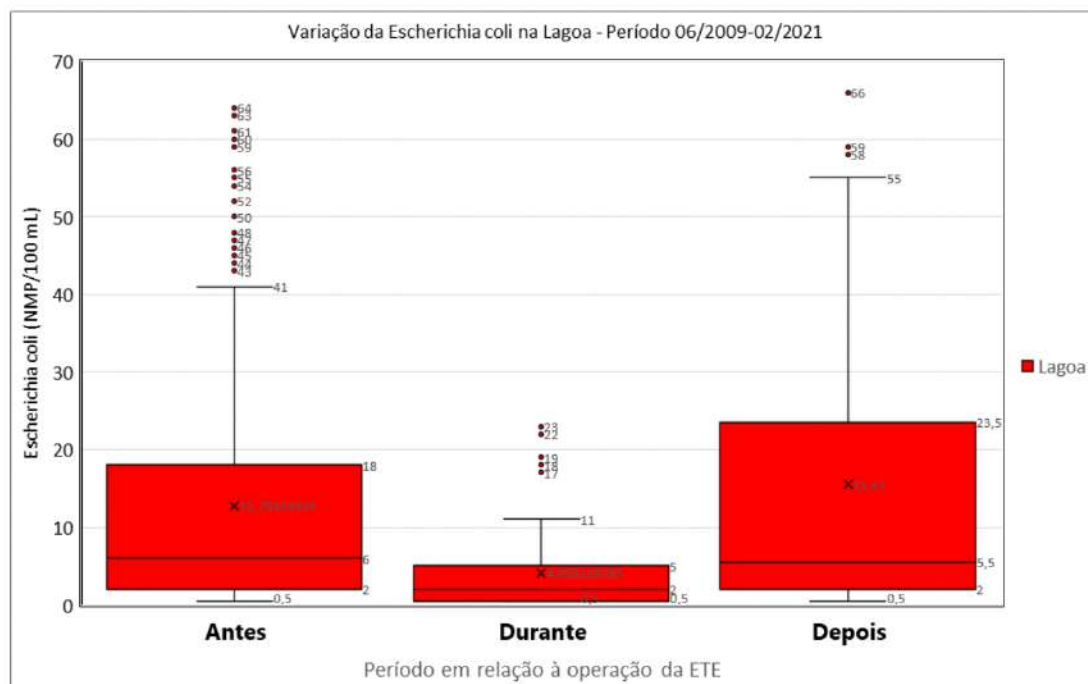
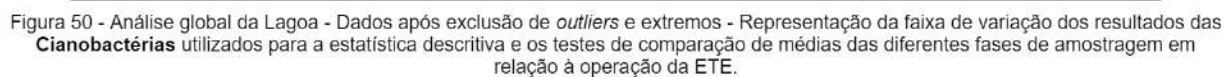
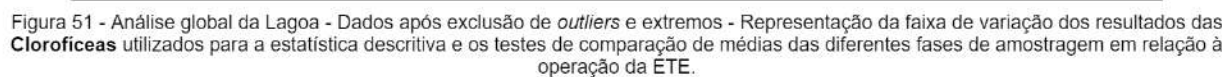


Figura 49 - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Representação da faixa de variação dos resultados da *Escherichia coli* utilizados para a estatística descritiva e os testes de comparação de médias das diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.





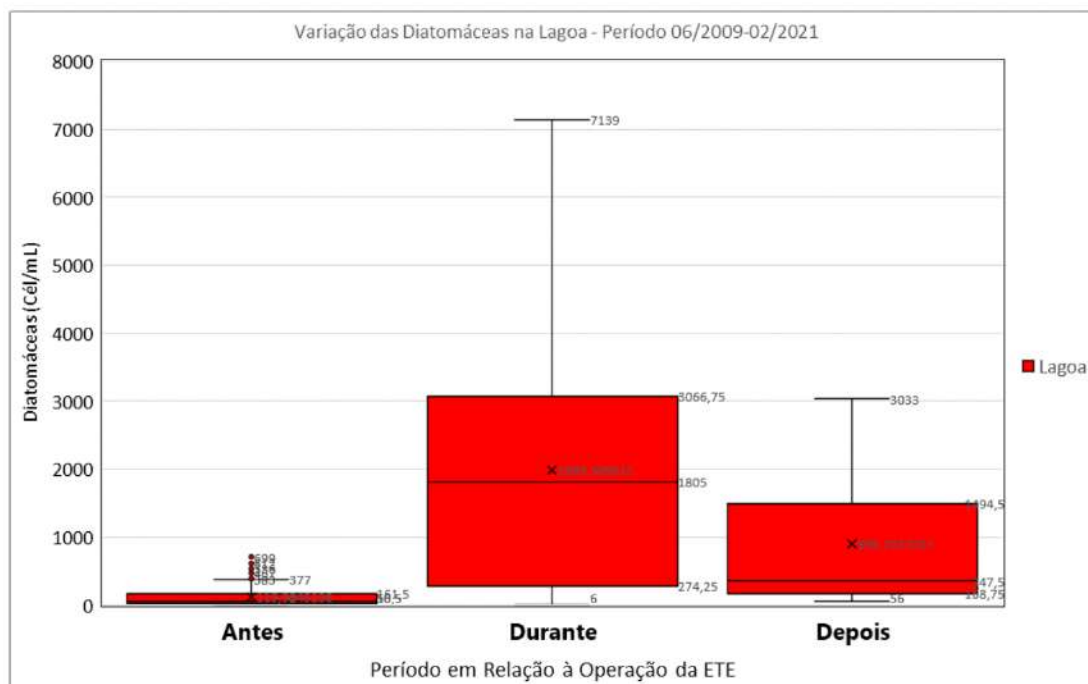


Figura 52 - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Representação da faixa de variação dos resultados das **Diatomáceas** utilizados para a estatística descritiva e os testes de comparação de médias das diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

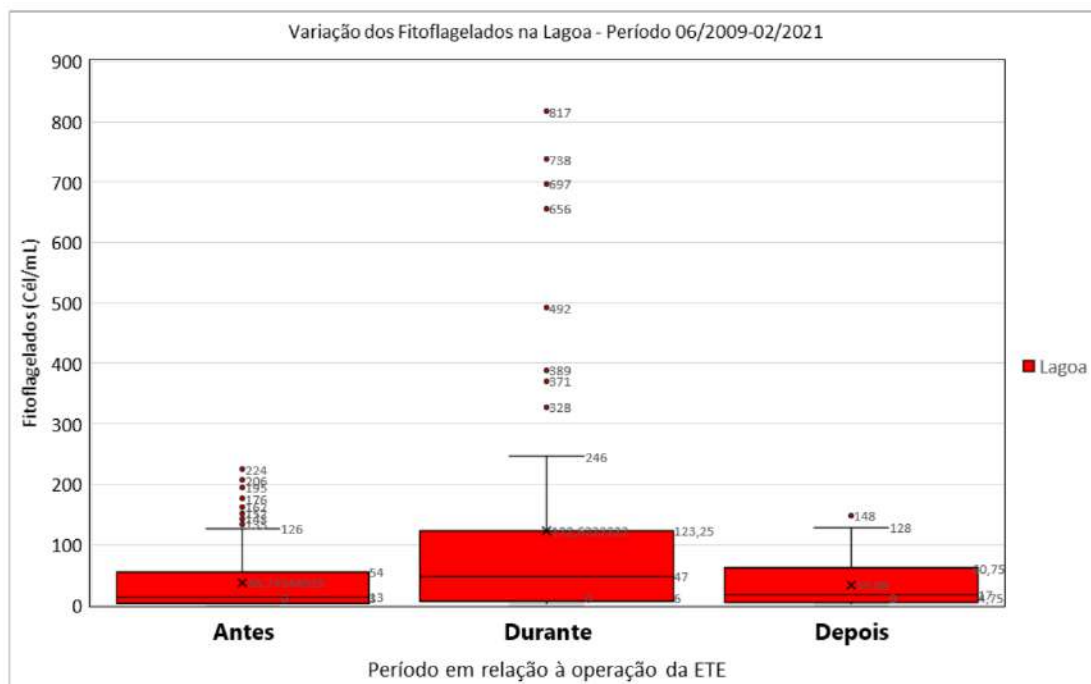


Figura 53 - Análise global da Lagoa - Dados após exclusão de *outliers* e extremos - Representação da faixa de variação dos resultados dos **Fitoflagelados** utilizados para a estatística descritiva e os testes de comparação de médias das diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.



107

3.2.6 Estatística Descritiva e Comparação de Médias, Comportamento Temporal dos Parâmetros de Qualidade da Água "Cianobactérias, Clorofíceas, Diatomáceas, Fitoflagelados e Fitoplâncton" e Análise da Variabilidade - Avaliação Global da Lagoa (Pontos de Amostragem Agrupados - Dados Originais) - Período entre 03/2016-02/2021

Essas análises contemplam aqueles parâmetros de qualidade da água que apresentaram comportamento sensivelmente diferente quando comparados separadamente os 3 períodos ou fases de amostragem/monitoramento em relação à operação da ETE (**1 - antes da operação; 2 - durante a operação e; 3 - depois da operação**). São os parâmetros Cianobactérias, Clorofíceas, Diatomáceas, Fitoflagelados e Fitoplâncton, os quais apresentaram comportamento, no que tange à dispersão dos dados (valores elevados "anômalos"), semelhante num período que **antecede** à operação da ETE (ao longo de 2,5 anos compreendido entre março/2016 e outubro/2018) e no período **durante a operação** da ETE. Para esse tipo de observação, o intervalo temporal entre março/2016 e fevereiro/2021 foi separado do período total de monitoramento para a análise do comportamento específico desses parâmetros nas 3 fases de amostragem/monitoramento em relação à operação da ETE, correspondentes a um período contínuo de amostragem de 60 meses.

Os dados utilizados nessa análise correspondem ao conjunto global de dados de cada parâmetro, agrupando-se os dados dos pontos de amostragem por data de coleta das amostras (considera-se a Lagoa como um "corpo homogêneo"), conforme descrito anteriormente (**Item 3.2.4**).

O Quadro 25 apresenta a síntese dos resultados das análises estatísticas descritivas e comparação de médias. As informações no quadro incluem a estatística descritiva, os parâmetros resultantes dos testes de comparação de médias e a interpretação dos resultados. Os dados são apresentados tanto em gráficos de dispersão (XY), para a observação do comportamento ao longo do tempo, como por período de monitoramento através de diagramas de caixas (Figuras 55a/55b a 59a/59b). Para exemplificar, as Figuras **a**) mostram o comportamento temporal dos parâmetros analisados na Lagoa. Nesse mesmo gráfico a **linha azul** representa a MÉDIA GERAL do parâmetro em análise para a Lagoa no período considerado (entre 03/2016 a 02/2021). Para melhor localizar temporalmente o período de amostragem em relação à **operação da ETE**, o intervalo correspondente ao período de operação da ETE (entre dezembro/2018 e maio/2020) também está representado nos gráficos por uma **linha vermelha** (—) sobre o eixo X (*meses 120 e 137 na escala utilizada*). Por seu lado, as Figuras **b**) apresentam a variabilidade ou dispersão dos dados em cada período em relação à operação da ETE, para os seguintes parâmetros:

- DBO₅ (mg/L O₂) - Quadro 25a
- Fósforo Total (mg/L P) - Quadro 25a
- pH - Quadro 25a
- Oxigênio Dissolvido (mg/L O₂) - Quadro 25a
- *Escherichia coli* (NMP/100 mL) - Quadro 25a
- Cianobactérias (cél/mL) - Quadro 25b e Figuras 55a e 55b
- Clorofíceas (cél/mL) - Quadro 25b e Figuras 56a e 56b
- Diatomáceas (cél/mL) - Quadro 25b e Figuras 57a e 57b
- Fitoflagelados (cél/mL) - Quadro 25b e Figuras 58a e 58b
- Fitoplâncton (cél/mL) - Quadro 25b e Figuras 59a e 59b

Quadro 25a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Resultados dos testes de comparação de médias entre as diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE, no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor #			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
DBO ₅ (mg/LO ₂)	Antes	198	0,82	0,79	0	4,7	2,19	0,113	3,02	Médias são significativamente IGUAIS.
	Durante	108	1,02	1,09	0,3	6,4				
	Depois	54	0,96	0,53	0,7	2,0				
	Total 3 fases	360	0,9	0,86	0	6,4				
Fósforo Total (mg/L P)	Antes	198	0,06	0,02	0,02	0,16	59,72	0	3,02	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	0,05	0,01	0,02	0,09				
	Depois	54	0,08	0,01	0,07	0,11				
	Total 3 fases	360	0,06	0,02	0,02	0,16				
pH	Antes	197	7,28	0,63	6,0	9,0	23,68	0	3,02	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	7,67	0,43	6,7	8,9				
	Depois	54	7,69	0,36	6,3	8,4				
	Total 3 fases	359	7,46	0,58	6,0	9,0				
Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)	Antes	197	8,63	0,85	7,0	11,4	3,35	0,036	3,02	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	8,39	0,62	7,4	10,0				
	Depois	54	8,46	0,84	7,0	10,0				
	Total 3 fases	359	8,53	0,79	7,0	11,4				
Escherichia coli (NMP/100 mL)	Antes	198	38,18	167,21	0,5	1733	1,48	0,229	3,02	Médias são significativamente IGUAIS.
	Durante	108	13,22	31,66	0,5	225				
	Depois	54	53,69	234,23	0,5	1725				
	Total 3 fases	360	33,02	154,72	0,5	1733				

Se F_{calculado} < F_{crítico} então as médias são significativamente IGUAIS.

Quadro 25b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Resultados dos testes de comparação de médias entre as diferentes fases de monitoramento em relação à operação da ETE, no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	Estatística Descritiva					Teste de Comparação de Médias ANOVA - Parâmetros da Estatística F de Snedecor #			
		Nº de Amostras	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	F _{calculado}	p _{calculado}	F _{crítico}	Interpretação
Cianobactérias (cél/mL)	Antes	198	633,34	1455,62	0	13376	7,64	0	3,02	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	1078,36	1944,94	0	9500				
	Depois	54	98,85	522,95	0	3846				
	Total 3 fases	360	686,68	1558,92	0	13376				
Clorofíceas (cél/mL)	Antes	198	78,01	172,62	0	1714	16,27	0	3,02	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	253,48	485,56	0	2809				
	Depois	54	17,5	35,12	0	191				
	Total 3 fases	360	121,58	307,76	0	2809				
Diatomáceas (cél/mL)	Antes	198	745,27	1084,62	0	4267	35,68	0	3,02	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	2258,40	2263,65	6	11858				
	Depois	54	899,70	1004,51	56	3033				
	Total 3 fases	360	1222,37	1669,09	0	11858				
Fitoflagelados (cél/mL)	Antes	198	462,57	1191,85	0	8515	3,48	0	3,02	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	460,88	860,50	0	4348				
	Depois	54	70,67	180,97	0	1239				
	Total 3 fases	360	403,28	1012,23	0	8515				
Fitoplâncton (cél/mL)	Antes	195	1917,85	2636,20	8	15099	29,05	0	3,02	Médias significativamente DIFERENTES.
	Durante	108	4051,12	3332,23	91	12309				
	Depois	54	1086,72	1358,49	90	6900				
	Total 3 fases	357	2437,50	2934,93	9	15099				

Se $F_{\text{calculado}} < F_{\text{crítico}}$ então as médias são significativamente IGUAIS.

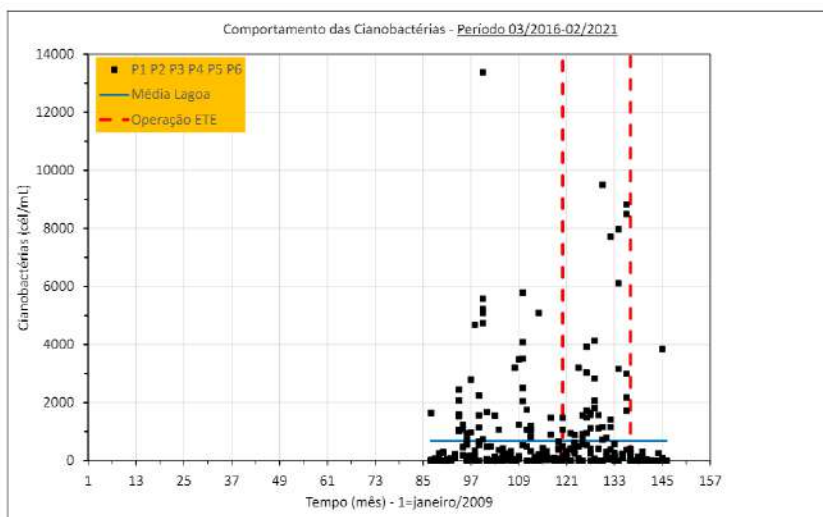


Figura 55a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das **Cianobactérias** no período entre março/2016 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

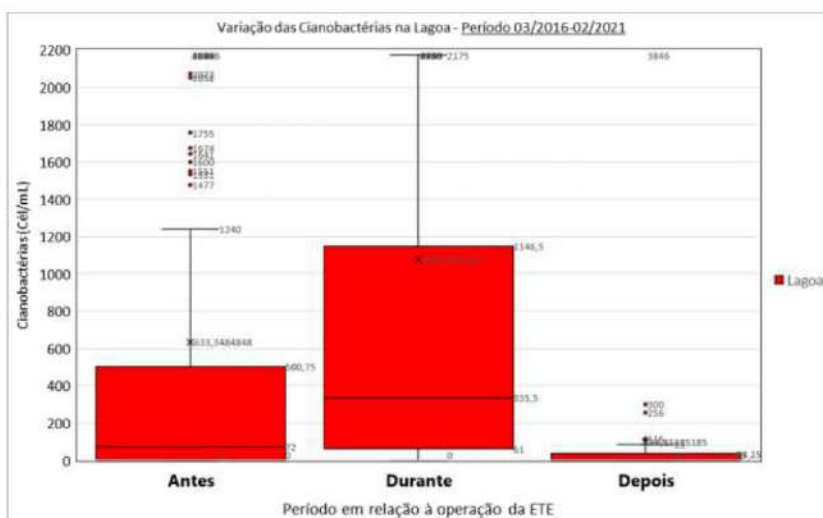


Figura 55b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade dos resultados das **Cianobactérias** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

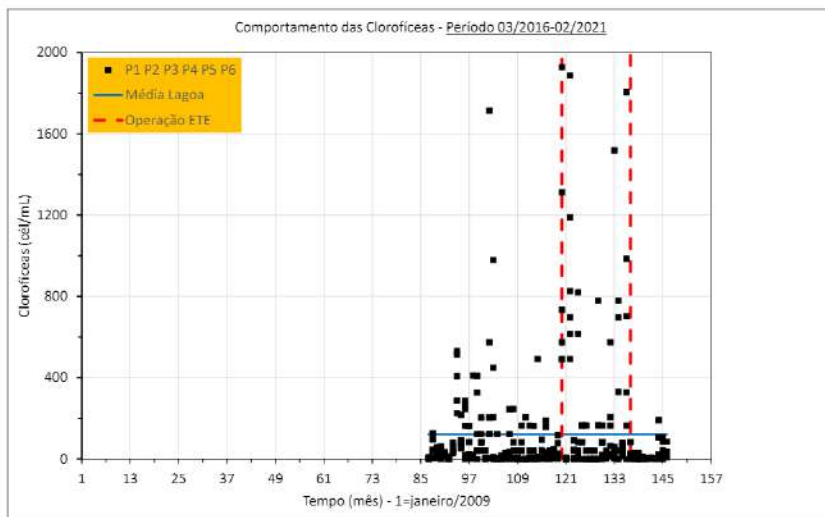


Figura 56a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das **Clorofíceas** no período entre março/2016 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

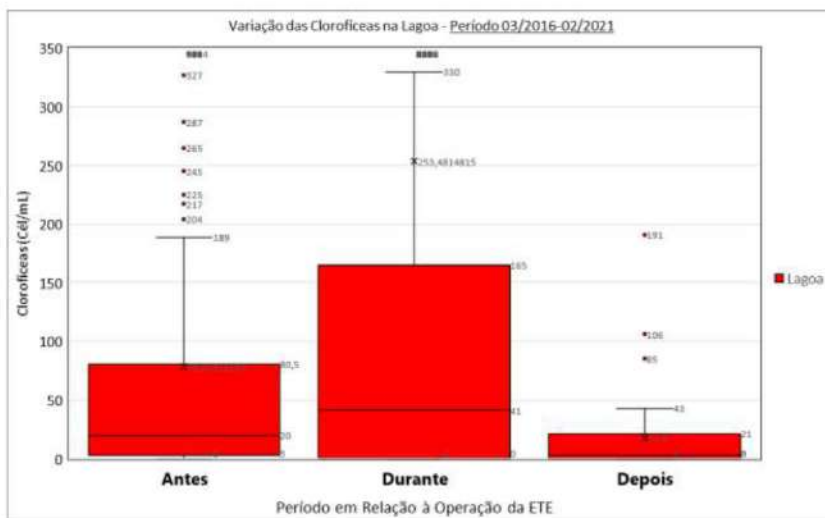


Figura 56b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade dos resultados das **Clorofíceas** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

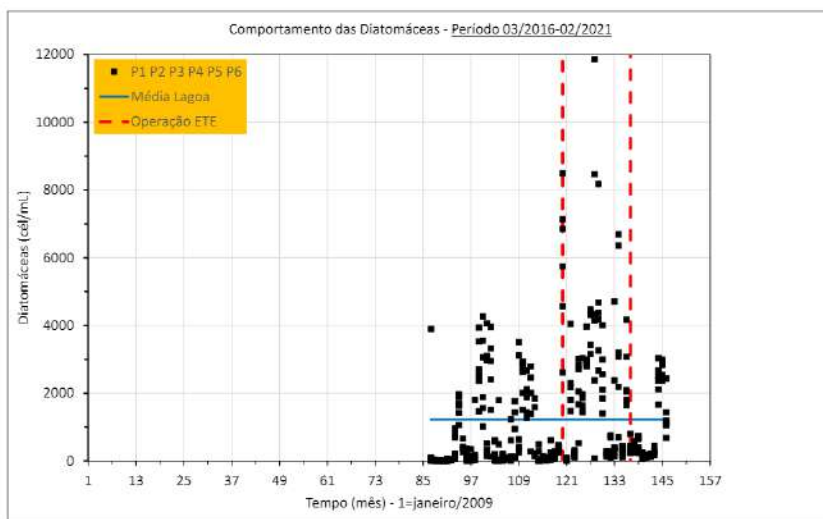


Figura 57a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das **Diatomáceas** no período entre março/2016 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

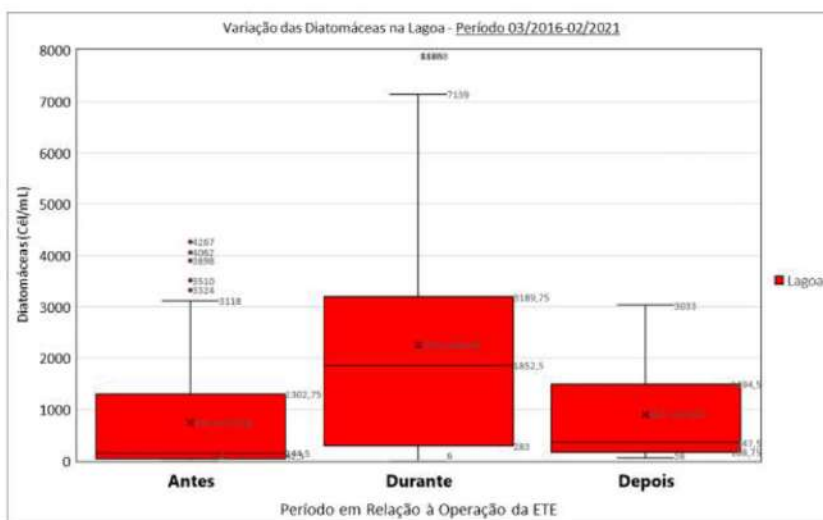


Figura 57b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade dos resultados **Diatomáceas** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

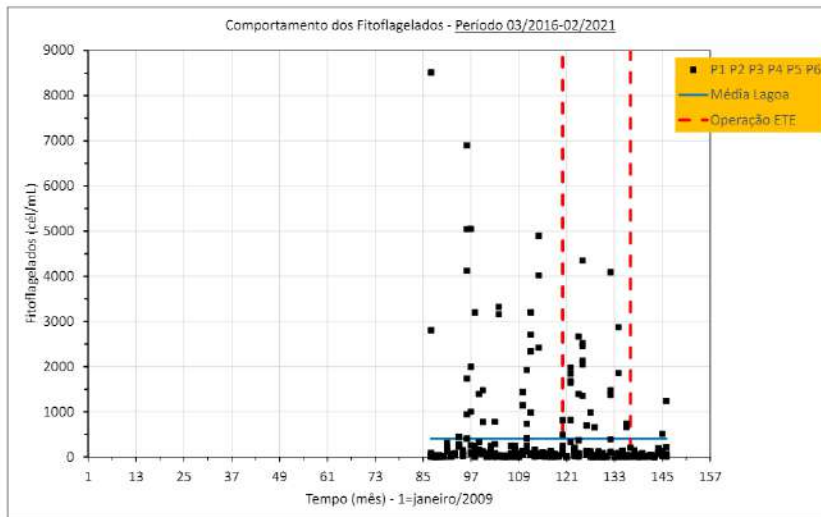


Figura 58a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento dos **Fitoflagelados** no período entre março/2016 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

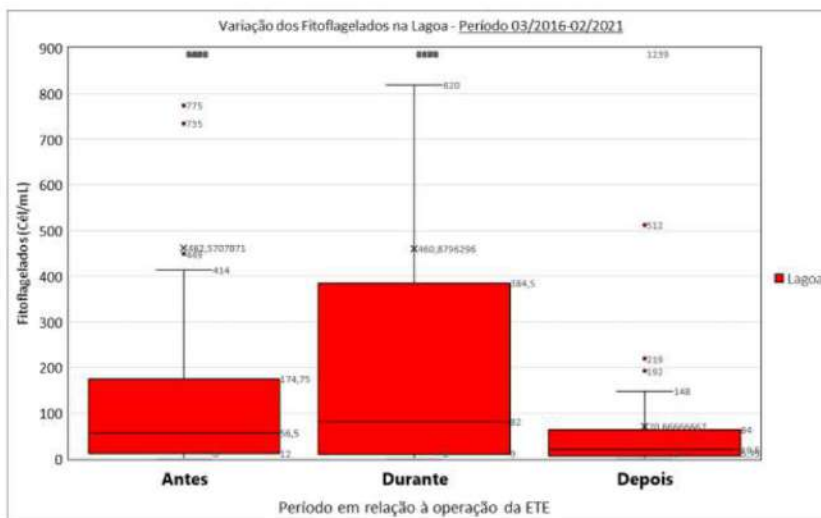


Figura 58b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade dos resultados dos **Fitoflagelados** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

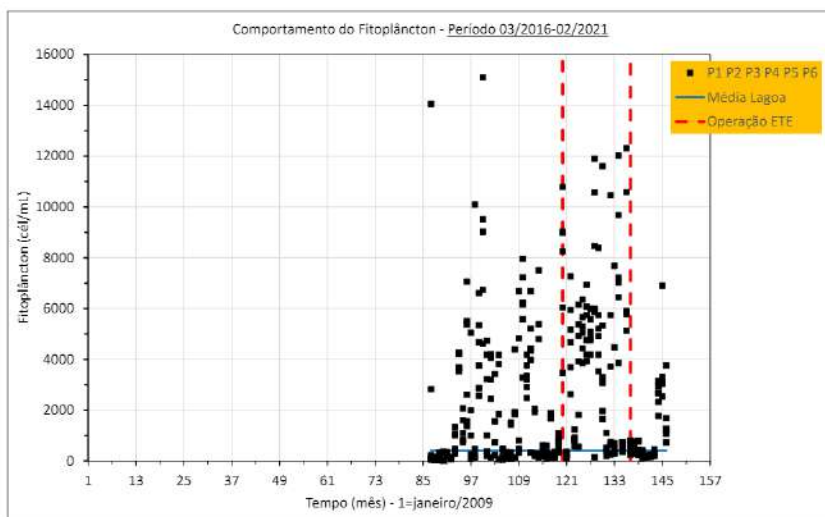


Figura 59a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento do **Fitoplâncton** no período entre março/2016 e fevereiro/2021, nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

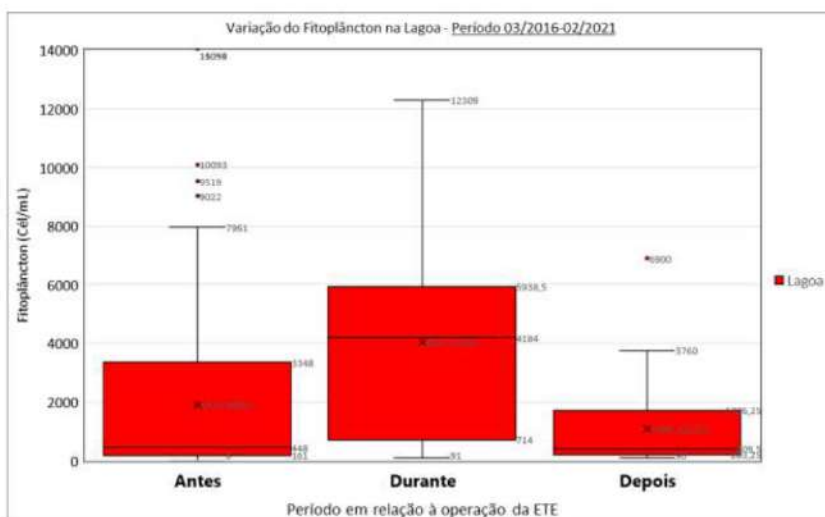


Figura 59b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Detalhe da representação da variabilidade dos resultados do **Fitoplâncton** nas diferentes fases de amostragem em relação à operação da ETE.

3.2.7 Comportamento Temporal das Médias Móveis dos Parâmetros de Qualidade da Água - Avaliação Global da Lagoa (Pontos de Amostragem Agrupados pela Média - Dados Originais)

Para esse tipo de análise os resultados dos parâmetros de monitoramento de cada ponto de amostragem foram agrupados para representar a Lagoa. Nesse caso, em cada data de coleta de amostra, os 6 valores de cada parâmetro resultantes das análises de laboratório (Figura 60a) passaram a constituir um ÚNICO valor correspondente à média do conjunto de valores (Figura 60b). Esse agrupamento de dados permitiu uma avaliação global do comportamento dos diferentes parâmetros de qualidade da água monitorados ao longo do tempo, por meio de médias móveis, considerando a Lagoa como um "corpo homogêneo".

Dois períodos temporais foram considerados nas avaliações para a observação do comportamento das médias móveis:

- análise considerando TODOS os dados disponíveis ao longo do período de amostragem entre junho/2009 e fevereiro/2021 (3 fases: ANTES com períodos sem monitoramento, DURANTE e DEPOIS da operação da ETE). Como nesse período houveram espaços temporais sem a coleta de amostras, para efeitos de cálculo das médias móveis o dado pertencente à última data de coleta do período anterior se tornou adjacente ao primeiro dado do período seguinte. Na prática, embora o espaço temporal total entre o início e fim do monitoramento seja de 141 meses, a média móvel acumulada do final do período de monitoramento corresponde à média de 97 meses efetivamente amostrados;
- análise considerando os dados disponíveis ao longo do período entre março/2016 e fevereiro/2021 (3 fases contínuas: ANTES, DURANTE e DEPOIS da operação da ETE). Esse período corresponde a um fragmento sem interrupções de amostragem na série de monitoramento. Na prática, a média móvel acumulada do final do período de monitoramento corresponde à média de 60 meses de amostragem contínua (ou seja, os últimos 60 meses do período integral de monitoramento).

Em ambos períodos para cada parâmetro foram calculadas duas médias móveis, conforme segue:

- Média Móvel Acumulada (MMA): corresponde à média móvel considerando o acumulado de dados até a data do cálculo, calculada conforme segue:

$$MMA_j = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^j q_i \right)$$

onde: MMA_j = Média Móvel Acumulada considerando os termos do início ao termo *j* da série de dados, com *j* variando entre 1 e *n*. Por exemplo: MMA₁ = valor do PRIMEIRO termo da série; MMA₂ = média dos primeiros DOIS termos da série; MMA₃ = média dos primeiros TRÊS termos da série; ... MMA_n = média dos *n* termos da série;

q_i = valores da série de dados do parâmetro analisado no período considerado (antes, durante ou depois da operação da ETE ou período de interesse específico);

n = número de dados da série.

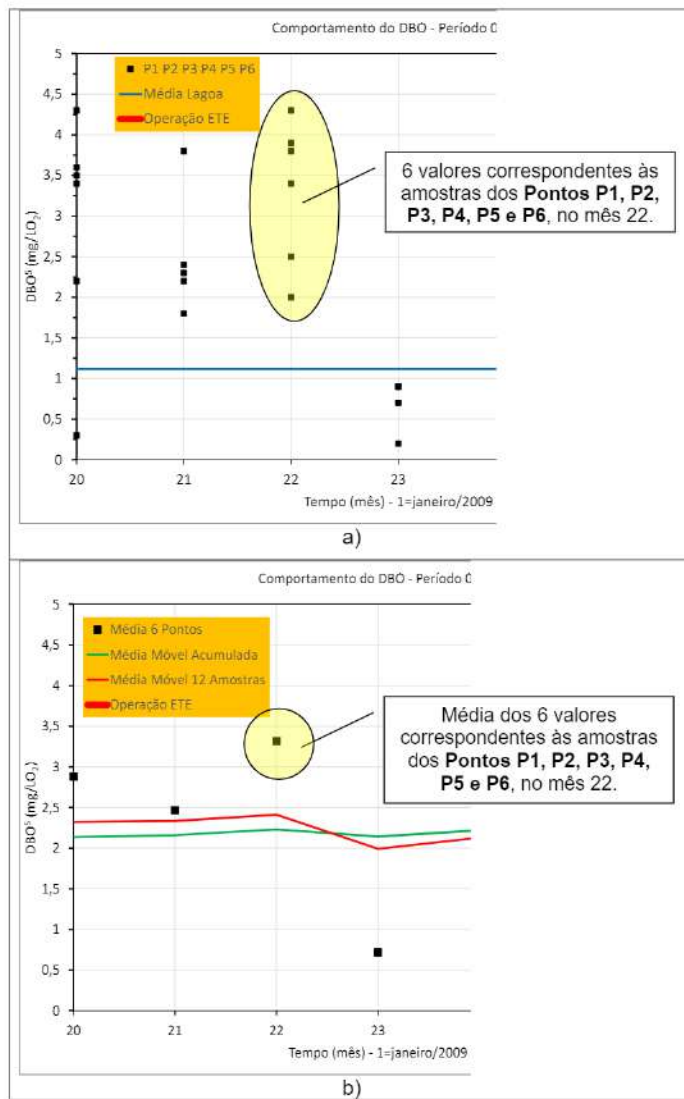


Figura 60 - Detalhe de agrupamentos dos valores dos parâmetros de qualidade da água na Lagoa dos Barros. a) 6 valores individualizados, sem discriminação dos pontos de amostragem, na data da coleta da amostra, usados para cálculo da MÉDIA GERAL; b) valor representativo correspondente à média dos 6 pontos, na data da coleta da amostra, usados para o cálculo da MÉDIA MÓVEL.

- Média Móvel 12 amostras (MM12): corresponde à média móvel considerando conjuntos de 12 termos dentro da série de dados e foi calculada conforme segue:

$$MM12_j = \frac{1}{12} \left(\sum_{i=j}^{j+11} q_i \right)$$

onde: MM12_j = Média Móvel 12 amostras considerando conjuntos de 12 termos da série de dados, com *j* variando entre 1 e (*n*-11). Por exemplo: MM12₁ = média dos termos 1 a 12 da série; MMA₂ = média dos termos 2 a 13 da série; ... MMA_{*n*-11} = média dos termos *n*-11 a *n* da série.

q_i = valores da série de dados do parâmetro analisado no período considerado (antes, durante ou depois da operação da ETE ou período de interesse específico).

Para fins comparativo, o Quadro 26 apresenta as médias computadas de acordo com os dois procedimentos: - MÉDIA GERAL (MG) utilizando os dados agrupados conforme descrito no **Item 3.2.4** (ilustrado na Figura 60a) e; - MÉDIA MÓVEL ACUMULADA (MMA) no final do período com os dados agrupados conforme Figura 60b.

Os dados utilizados nas análises, juntamente com as médias móveis, são apresentados em gráficos de dispersão (XY). Para fins de comparação, nos gráficos que contemplam a série histórica de 141 meses entre junho/2009 e fevereiro/2021 ou a série contínua de 60 meses entre março/2016 e fevereiro/2021, a **linha azul** representa a MÉDIA GERAL do parâmetro em análise para a Lagoa do respectivo período, tendo como base de dados **TODOS** os resultados disponíveis (de **TODOS** os pontos de amostragem na Lagoa e de **TODOS** os períodos), conforme ilustrado na Figura 60a. Para melhor localizar temporalmente o período de amostragem em relação à **operação da ETE**, o intervalo correspondente ao período de operação da ETE (entre dezembro/2018 e maio/2020) também está representado nos gráficos por uma **linha vermelha (—)** sobre o eixo X (*meses 120 e 137 na escala utilizada*). Os resultados são apresentados nas Figuras 61a/61b a 70a/70b. Para exemplificar, as Figuras **a)** mostram o comportamento temporal das médias móveis considerando a série histórica de 141 meses entre junho/2009 e fevereiro/2021, enquanto as Figuras **b)** apresentam o comportamento temporal das médias móveis considerando o fragmento da série histórica contínua de 60 meses entre março/2016 e fevereiro/2021, para os seguintes parâmetros:

- DBO₅ (mg/L O₂) - Figuras 61a e 61b
- Fósforo Total (mg/L P) - Figuras 62a e 62b
- pH - Figuras 63a e 63b
- Oxigênio Dissolvido (mg/L O₂) - Figuras 64a e 64b
- *Escherichia coli* (NMP/100 mL) - Figuras 65a e 65b
- Cianobactérias (cél/mL) - Figuras 66a e 66b
- Clorofíceas (cél/mL) - Figuras 67a e 67b
- Diatomáceas (cél/mL) - Figuras 68a e 68b
- Fitoflagelados (cél/mL) - Figuras 69a e 69b
- Fitoplâncton (cél/mL) - Figuras 70a e 70b

Quadro 26 - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comparativo de médias computadas considerando diferentes forma de agrupamento dos pontos de amostragem.

Parâmetro de Análise	Fase de Monitoramento em Relação à Operação da ETE	MÉDIA GERAL (MG)		MÉDIA MÓVEL ACUMULADA final (MMA)		Relação MG / MMA (%)
		Nº de Amostras	Média	Nº de Amostras	Média	
DBO ₅ # (mg/L O ₂)	3 fases agrupadas num único período.	557	1,10	141	1,12	-2,0
Fósforo Total (mg/L P)		560	0,06	141	0,06	-0,8
pH		554	7,28	141	7,26	+0,2
Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)		554	8,44	141	8,41	+0,4
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		557	55,14	141	62,63	-11,9
Cianobactérias (cél/mL)		561	496,13	141	485,48	+2,2
Clorofíceas (cél/mL)		561	81,86	141	80,34	+1,9
Diatomáceas (cél/mL)		561	833,64	141	807,60	+3,2
Fitoflagelados (cél/mL)		561	275,81	141	270,55	+1,9
Fitoplâncton (cél/mL)		558	1693,09	141	1649,21	+2,7

* Inclui os dados após o mês 133=janeiro/2020, designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0, definidos como =0,7 e =2,0 para as análises estatísticas.

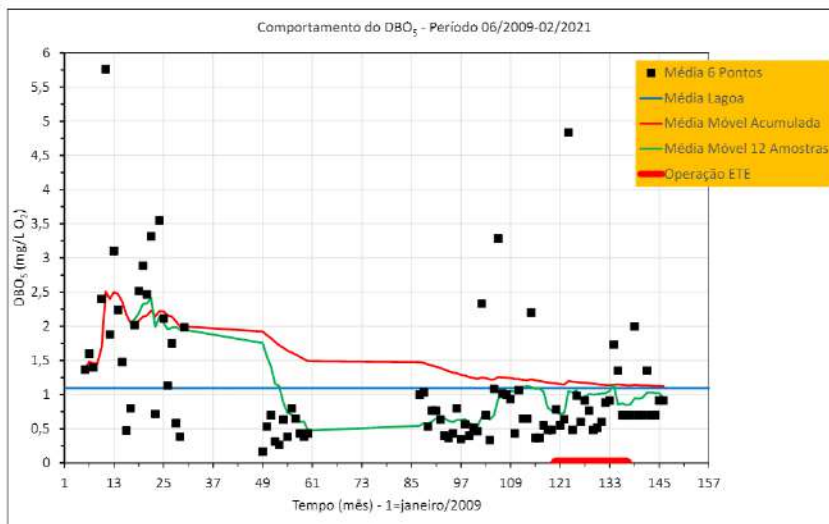


Figura 61a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do DBO_5 no período entre junho/2009 e fevereiro/2021. (Nota: os dados após o mês 133=janeiro/2020 designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0 foram definidos como =0,7 e =2,0 para fins de representação gráfica e tratamento estatístico).

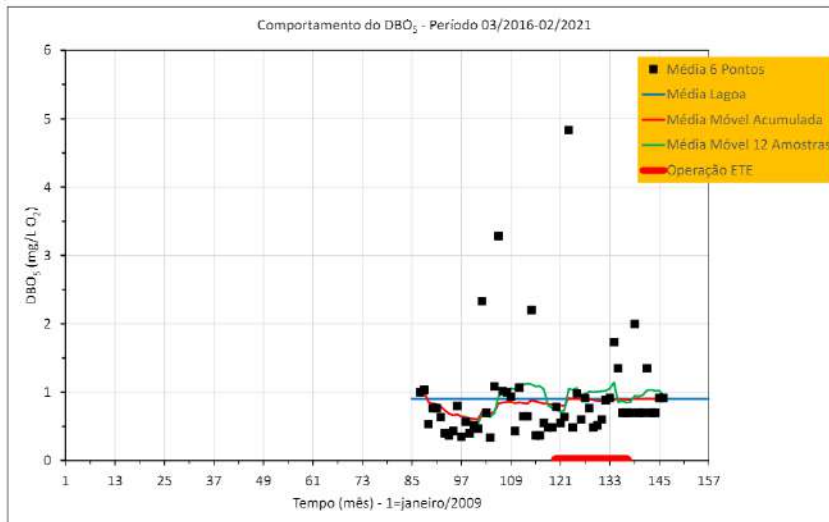


Figura 61b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do DBO_5 no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

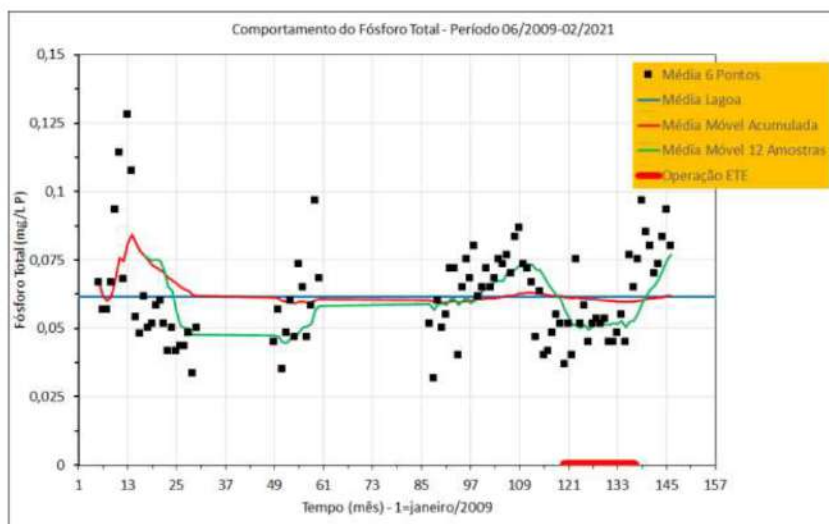


Figura 62a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do **Fósforo Total** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021.

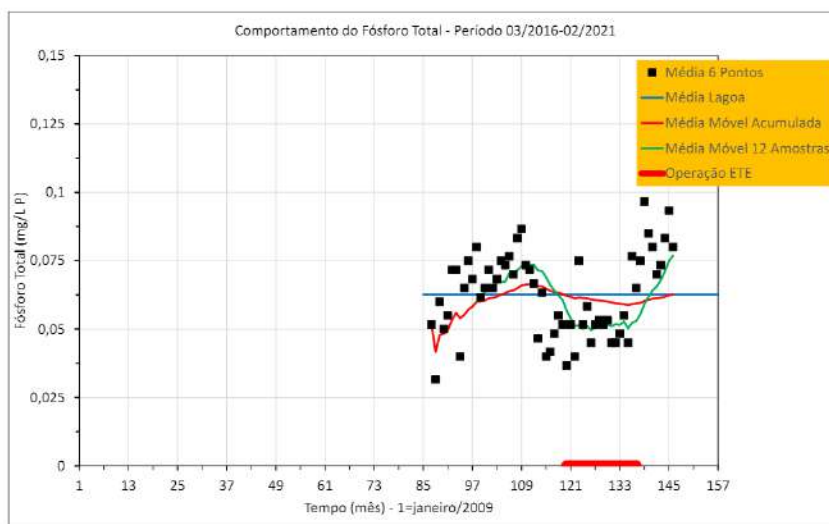


Figura 62b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do **Fósforo Total** no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

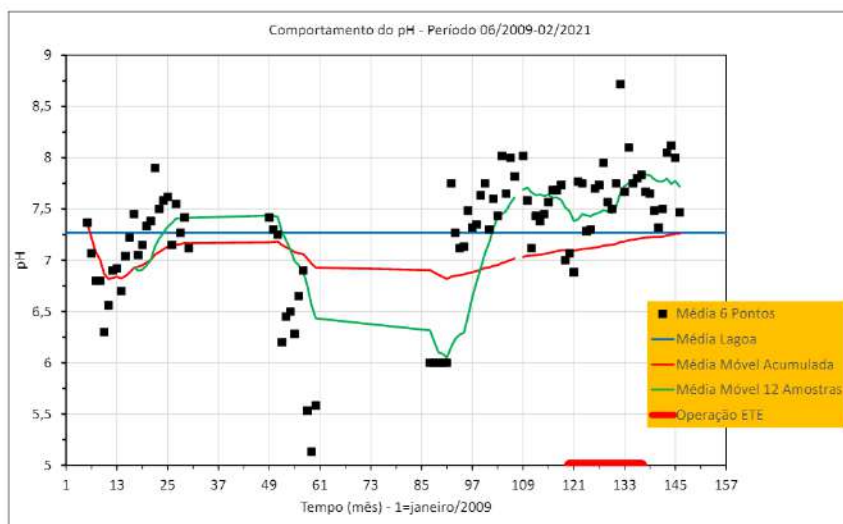


Figura 63a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do pH no período entre junho/2009 e fevereiro/2021.

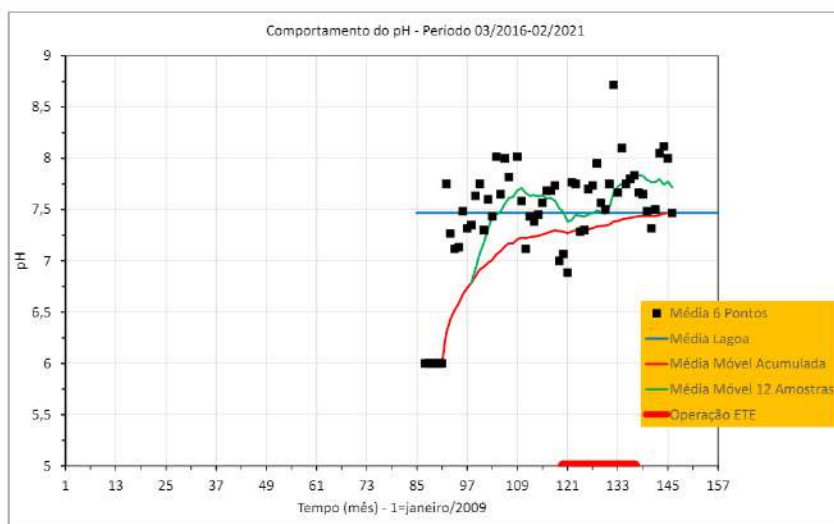


Figura 63b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do pH no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

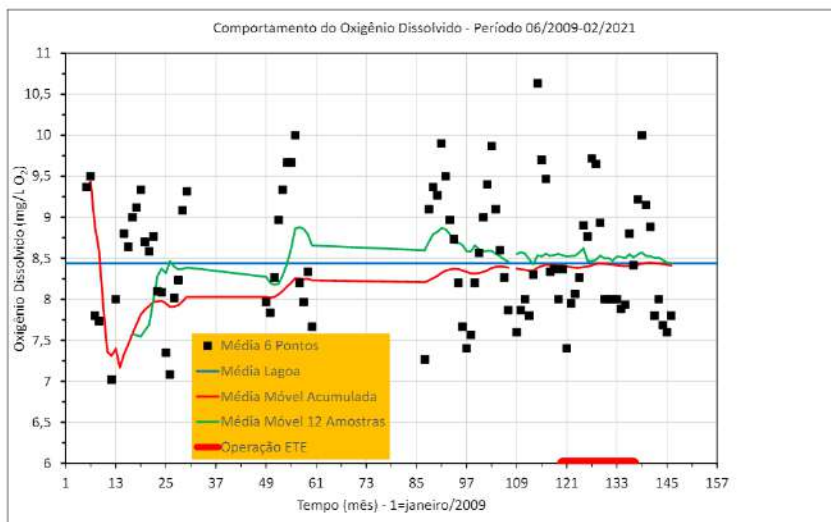


Figura 64a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do **Oxigênio Dissolvido** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021.

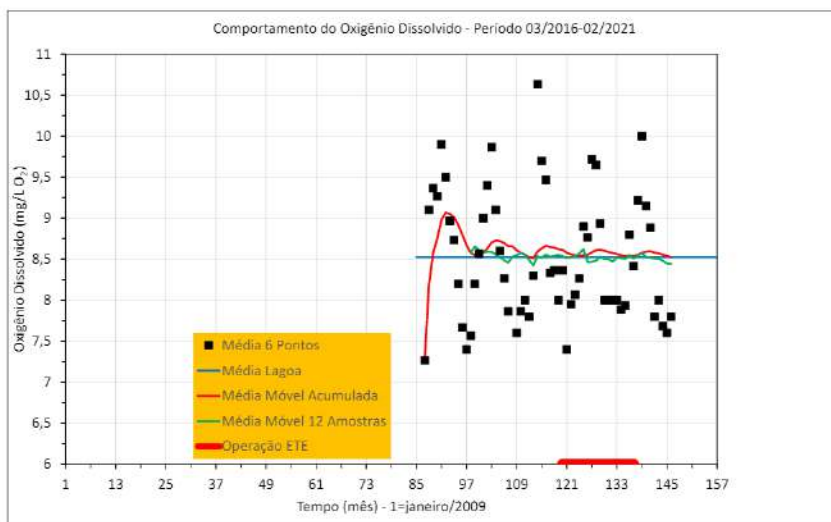


Figura 64b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do **Oxigênio Dissolvido** no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

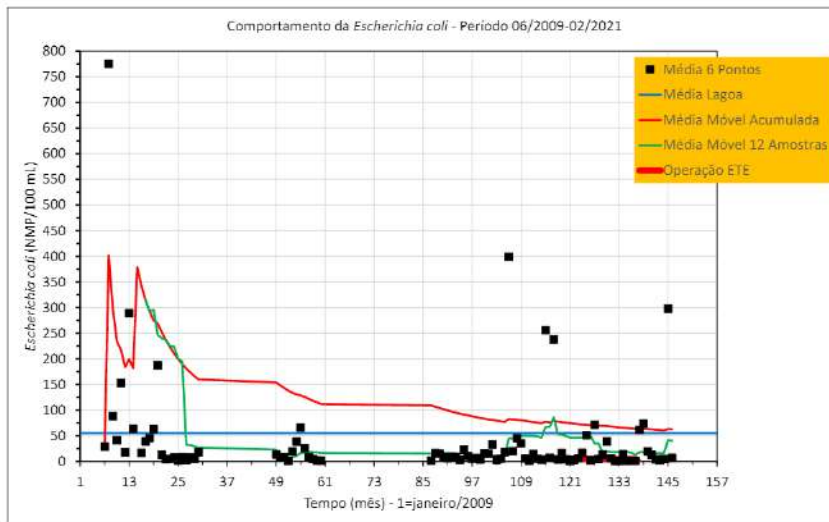


Figura 65a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis da *Escherichia coli* no período entre junho/2009 e fevereiro/2021. (Nota: o dado do mês 15 = 1952,4 não está plotado por estar fora da escala vertical).

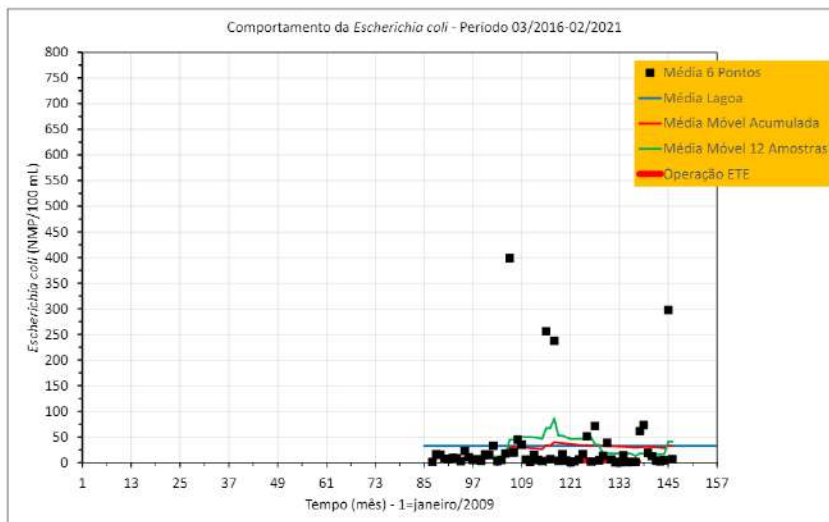


Figura 65b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis da *Escherichia coli* no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

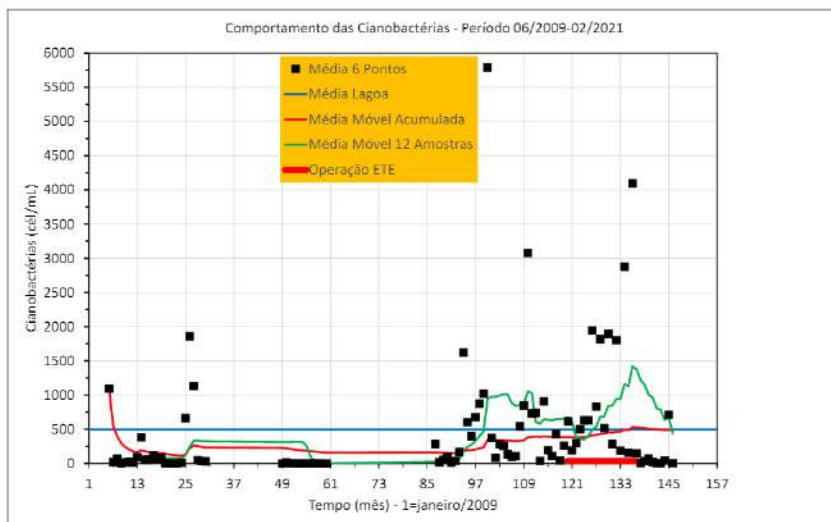


Figura 66a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis das **Cianobactérias** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021.

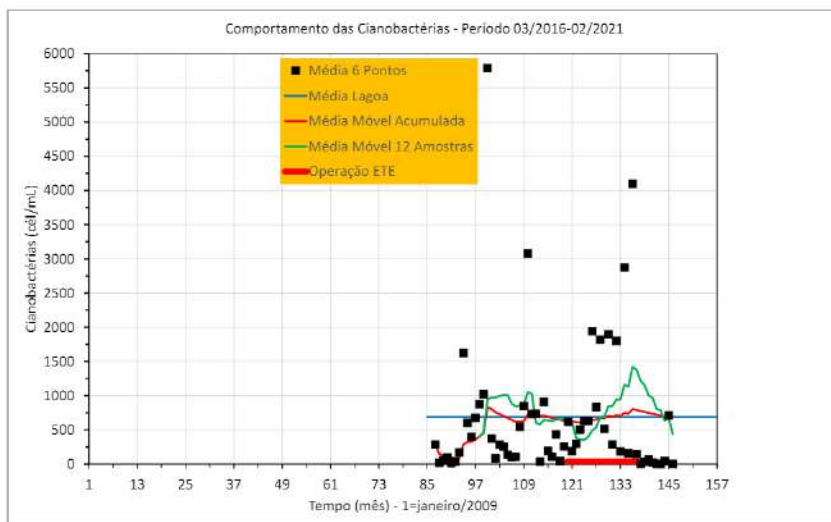


Figura 66b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis das **Cianobactérias** no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

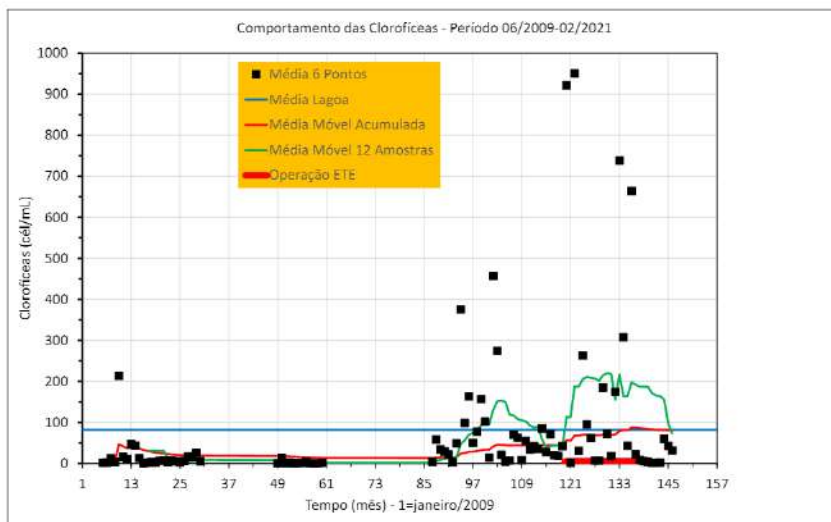


Figura 67a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis das **Clorofíceas** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021.

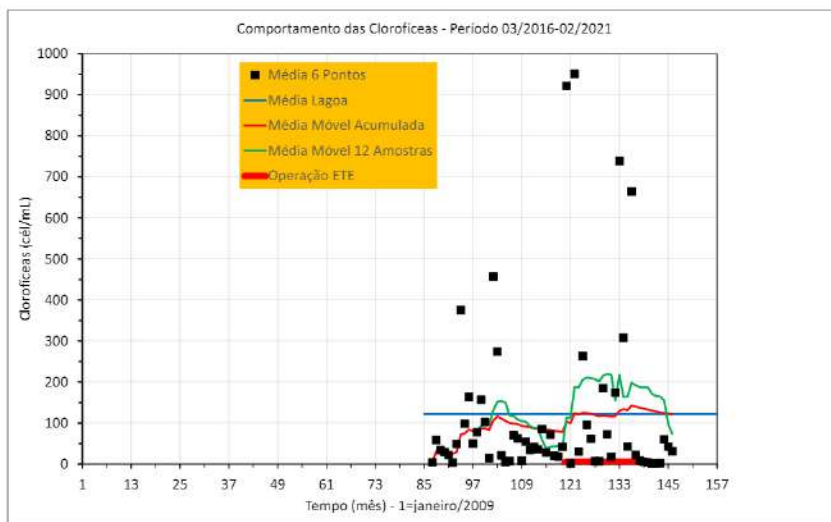


Figura 67b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis das **Clorofíceas** no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

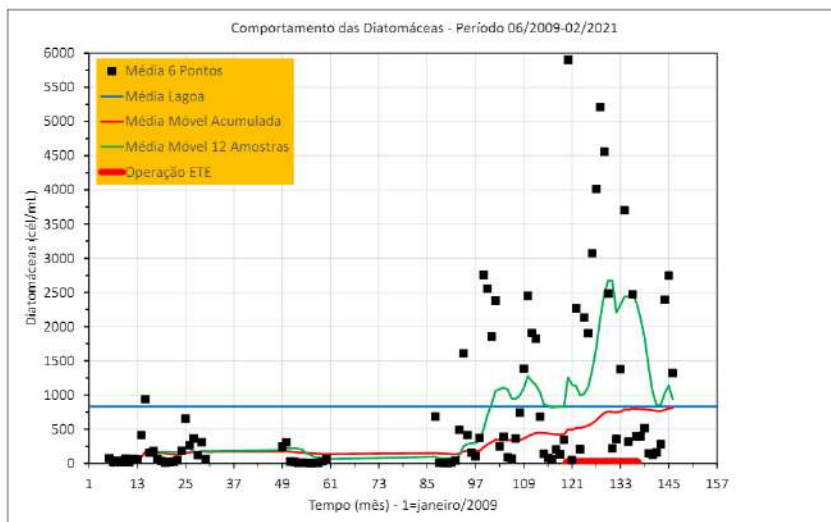


Figura 68a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis das **Diatomáceas** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021.

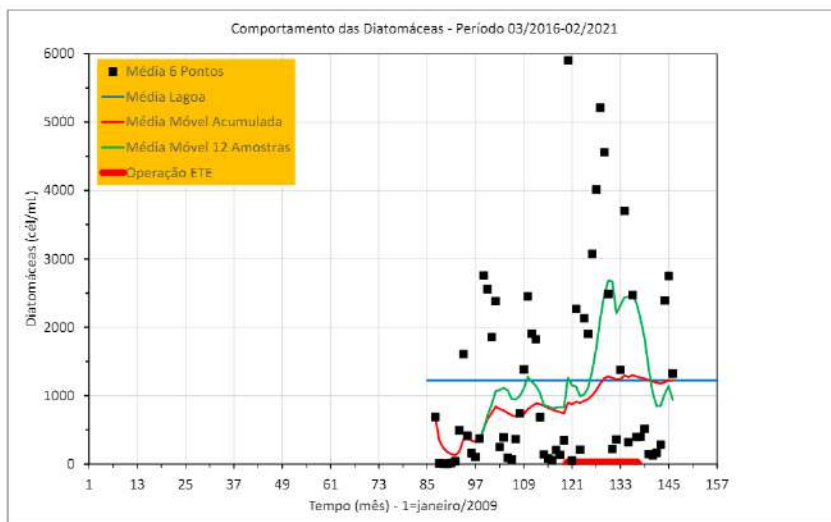


Figura 68b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis das **Diatomáceas** no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

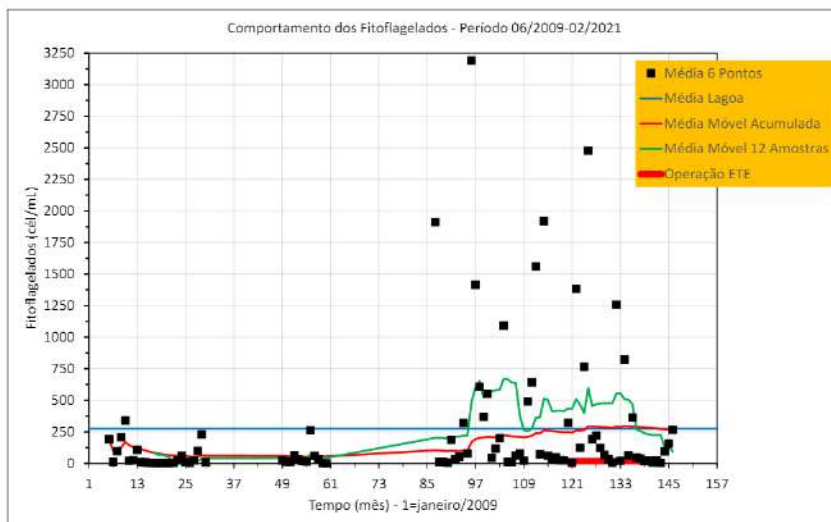


Figura 69a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis dos **Fitoflagelados** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021.

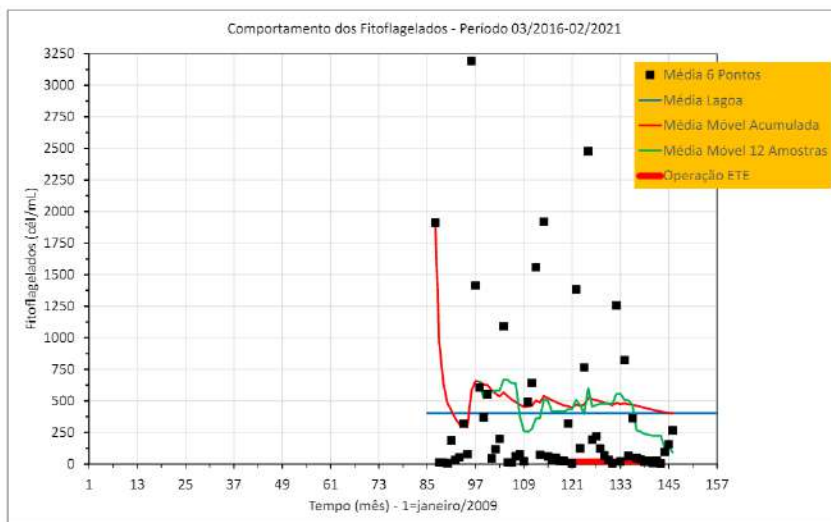


Figura 69b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis dos **Fitoflagelados** no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

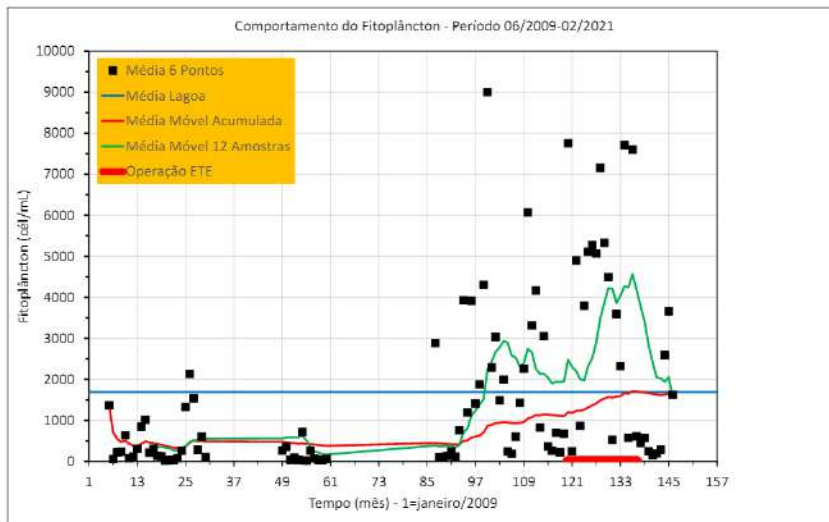


Figura 70a - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do **Fitoplâncton** no período entre junho/2009 e fevereiro/2021.

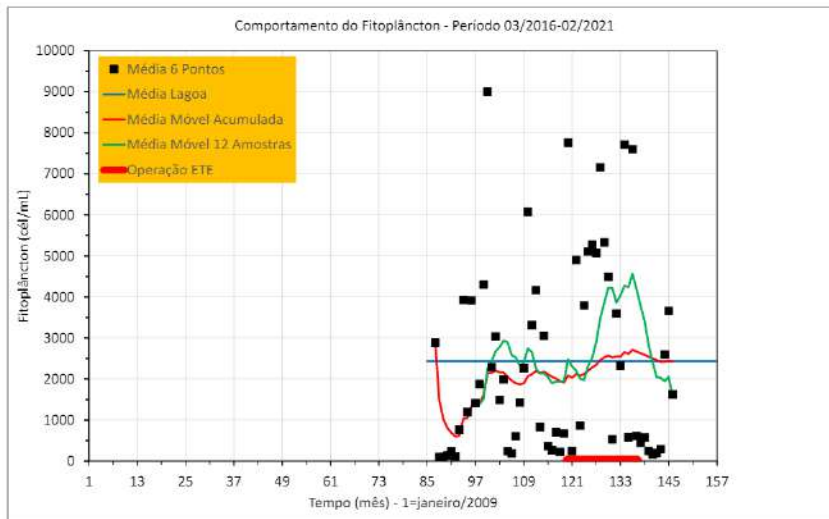


Figura 70b - Análise global da Lagoa - Dados originais - Comportamento das médias móveis do **Fitoplâncton** no período entre março/2016 e fevereiro/2021.

4 Análise dos Resultados do Tratamento Estatístico

4.1 Considerações Iniciais

A análise dos resultados obtidos a partir da aplicação de diferentes técnicas de tratamento estatístico dos dados de monitoramento dos parâmetros químicos, bacteriológico e biológicos na Lagoa dos Barros, ao longo de um período de 141 meses (períodos de amostragem intermitentes) entre 06/2009 e 02/2021, mostra dois comportamentos distintos:

a) alguns parâmetros sofreram pouca variação, quase nenhuma variação ou variações sazonais/cíclicas em torno da média, independente do período ou mesmo dentro dos períodos específicos, **ANTES, DURANTE ou DEPOIS da entrada em operação da ETE**. Tratam-se daqueles parâmetros químicos também presentes no conteúdo do efluente lançado na Lagoa **DURANTE o período de funcionamento da ETE**. Compõem esse conjunto os parâmetros:

- DBO₅
- Fósforo Total
- Nitrogênio Amoniacal
- pH
- Oxigênio Dissolvido

b) outros parâmetros apresentaram grandes variações (elevada dispersão em torno da média). Na prática, esse aspecto exigiu análises estatísticas que contemplassem o comportamento do parâmetro não somente em períodos fechados/pré-definidos (ANTES, DURANTE e DEPOIS da operação da ETE), mas em períodos contínuos que abrangessem uma parcela de cada período, para que pudessem ser observadas tendências nas variações que ocorreram entre o final de um período e início do período seguinte. Esse conjunto é composto pelos seguintes parâmetros analisados:

- *Escherichia coli*
- Cianobactérias
- Clorofíceas
- Diatomáceas
- Fitoflagelados
- Fitoplâncton

O primeiro aspecto observado, como regra em praticamente todos os parâmetros amostrados, é a homogeneidade dos resultados entre os 6 pontos de monitoramento (Item 3.2.1 e, especialmente, Item 3.2.2). Os diagramas de caixa com os dados individualizados por ponto de monitoramento e período/fase em relação à operação da ETE mostram essa característica na mediana, na média, na faixa de variação do conjunto de dados central representado pelos 2º e 3º quartis, assim como na dispersão (variância/desvio padrão) e valores expúrios ou *outliers*, independentemente do período considerado, se ANTES, DURANTE ou DEPOIS da operação da ETE. Das 29 comparações envolvendo os 6 pontos de amostragem de cada um dos parâmetros analisados, nas 3 fases de monitoramento em relação ao período de operação da ETE, as fases durante do Fósforo Total, depois da *Escherichia coli* e durante das Cianobactérias, Clorofíceas e Fitoflagelados podem ser tratadas como exceções, onde se observa relativa

heterogeneidade de comportamento de 1 ou 2 pontos em relação aos demais. Nesses casos de exceção não há predominância de um ou outro ponto em relação aos demais que caracterize a heterogeneidade.

Outra característica marcante é a dispersão dos dados verificada ao longo do período de monitoramento, especialmente dos parâmetros bacteriológico e biológicos. Nesse contexto, as medidas de posição e dispersão (média e desvio padrão) são fortemente afetadas pelos valores discrepantes (*expúrios/outliers* e extremos), dependendo da maneira como são arranjados os dados para a análise. Independentemente da forma como são utilizados: - **i)** dados originais ou "filtrados", se individualizados por ponto de amostragem e por período/fase de monitoramento em relação à operação da ETE (**Item 3.2.3**); **ii)** dados originais ou "filtrados", se individualizados somente por período/fase em relação à operação da ETE (**Itens 3.2.4 e 3.2.5**); **iii)** dados originais, se considerado um fragmento de período contínuo de monitoramento (**Item 3.2.6**) - os resultados são os mesmos, ou seja, a dispersão se mostra muito alta, com poucas exceções. Para efeitos de comparação, o Quadro 27 apresenta uma síntese da estatística descritiva envolvendo dados arranjados conforme **ii)** e **iii)**, onde é possível observar essa característica.

Outro parâmetro para avaliar a dispersão é o Coeficiente de Variação, CV. Esse índice é uma medida utilizada para expressar a dispersão relativa dos dados numa distribuição. Esse indicador do nível de dispersão é calculado da seguinte forma:

$$CV(\%) = \frac{\text{desvio padrão}}{\text{média}} * 100 \quad (1)$$

Os níveis do CV observados nas análises mostram dispersões extremamente elevadas, independentemente dos dados utilizados, se originais ou "filtrados", especialmente nos parâmetros bacteriológico e biológicos (CVs na faixa entre 150% e 750%). As exceções são o pH e o Oxigênio Dissolvido, que mostraram dispersão baixa. O que se observa em termos quantitativos pode ser resumido qualitativamente conforme Quadro 28.

Quando a medida de posição (média) foi avaliada continuamente ao longo do tempo, através de médias móveis, foi possível observar com melhor clareza o comportamento contínuo dos parâmetros de qualidade da água (**Item 3.2.7**). Diferentemente do que se observa quando adotadas médias individualizadas por fase de amostragem, ou seja, a média estática que representa o parâmetro analisado num período fechado, a observação da evolução das médias móveis permitiu identificar em que momentos do período de monitoramento ocorrem as mudanças de tendência de comportamento dos diferentes parâmetros de qualidade da água. Esse tipo de análise forneceu elementos úteis para o entendimento daqueles parâmetros que apresentaram maior variabilidade durante o período de monitoramento, especialmente nos últimos 2,5 anos do período antes da entrada em operação da ETE e durante a operação, quando ao final ocorreu a intensa floração de algas. Esses aspectos serão discutidos adiante, especialmente quando tratados os parâmetros biológicos (Cianobactérias, Clorofíceas, Diatomáceas, Fitoflagelados e Fitoplâncton), que foram os que experimentaram as maiores oscilações/variações ao longo do período de monitoramento e que tem, no período de 2,5 anos **antes** da entrada em operação da ETE, características marcantes e fundamentais para o entendimento do comportamento desses parâmetros **durante** a fase de operação da ETE e **após** cessada a sua operação.

Quadro 27 - Análise global da Lagoa considerando as 3 fases agrupadas num único período - Comparativo da estatística descritiva considerando dados **originais** e dados após exclusão de *outliers* e extremos ("**filtrados**").

Parâmetro de Análise	Estatística Descritiva <i>Período integral de amostragem: 2009-2021 (Itens 3.2.4 e 3.2.5)</i>								Estatística Descritiva <i>Período contínuo de amostragem: 2016-2021 (Item 3.2.6)</i>			
	Dados originais				Dados "filtrados"				Dados Originais			
	Min.	Máx.	Média	Desvio Padrão	Min.	Máx.	Média	Desvio Padrão	Min.	Máx.	Média	Desvio Padrão
DBO ₅ (mg/L O ₂) #	0	7,9	1,10	1,12	0	2,70	0,79	0,55	Não analisado.			
Fósforo Total (mg/L P)	0,02	0,34	0,06	0,02	0,02	0,11	0,06	0,02	Não analisado.			
pH	4,90	9,00	7,28	0,66	5,60	8,40	7,30	0,57	Não analisado.			
Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)	1,8	12	8,44	1,05	6,30	10,60	8,53	0,79	Não analisado.			
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	0,5	9050	55,14	409,73	0,50	66	11,43	14,85	Não analisado.			
Cianobactérias (cél/mL)	0	13376	496,13	1320,85	0	2065	127,43	301,06	0	13376	686,68	1558,92
Clorofíceas (cél/mL)	0	2809	81,86	252,80	0	330	16,75	35,87	0	2809	121,58	307,76
Diatomáceas (cél/mL)	0	11858	833,64	1440,66	0	7139	598,77	1174,91	0	11858	1222,37	1669,09
Fitoflagelados (cél/mL)	0	8515	275,81	830,58	0	820	52,37	101,37	0	8515	403,28	1012,23
Fitoplâncton (cél/mL)	0	15099	1693,09	2579,92	0	12020	1224,78	2156,76	8	15099	2437,50	2934,93

Inclui os dados após o mês 133=janeiro/2020, designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0 e definidos como =0,7 e =2,0 para fins de tratamento estatístico.

Quadro 28 - Classificação da dispersão dos dados dos diferentes parâmetros de qualidade da água da Lagoa dos Barros, no período de amostragem 06/2009-02/2021.

Parâmetro de Análise	Coeficiente de Variação, CV	
	Faixa de Enquadramento do CV do Parâmetro	Classificação da Dispersão
DBO ₅ (mg/L O ₂)	CV ≥ 30%	Alta
Fósforo Total (mg/L P)	15% < CV < 30%	Média à alta
Nitrogênio Amoniacal (mg/L N/NH ₃)	CV ≥ 30% #	Alta
pH	CV < 15%	Baixa
Oxigênio Dissolvido (mg/L O ₂)	CV < 15%	Baixa
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	CV ≥ 30% ##	Alta
Cianobactérias (cél/mL)	CV ≥ 30% ##	Alta
Clorofíceas (cél/mL)	CV ≥ 30% ##	Alta
Diatomáceas (cél/mL)	CV ≥ 30% ##	Alta
Fitoflagelados (cél/mL)	CV ≥ 30% ##	Alta
Fitoplâncton (cél/mL)	CV ≥ 30% ##	Alta

Há pouca disponibilidade de dados e em apenas num dos períodos.

Na realidade, os valores dos CVs computados para esses parâmetros são >>30%.

Classes de dispersão (CORREA, 2003; p. 61): CV ≤ 15% (**BAIXA**); 15% < CV < 30% (**MÉDIA**); CV ≥ 30% (**ALTA**).

No que tange aos diferentes parâmetros individualmente, outros aspectos são perceptíveis e, genericamente, podem ser caracterizados da seguinte forma:

- a) o DBO₅ apresenta comportamento variável/errático dentro da série histórica, ora muito heterogêneo com grande dispersão dos dados, ora homogêneo, perceptível dentro de períodos restritos, especialmente antes da entrada em operação da ETE;
- b) Os parâmetros Fósforo Total, pH e Oxigênio Dissolvido, por sua vez, apresentam variações sazonais bem perceptíveis, porém, independentemente do período considerado em relação a operação da ETE. Enquanto o Oxigênio Dissolvido apresenta variações extremas semestralmente, as variações dos 2 primeiros ocorrem em ciclos temporais maiores, da ordem de mais de 6 meses a alguns anos;
- c) Já os parâmetros, bacteriológico (*Escherichia coli*) e biológicos (Cianobactérias, Clorofíceas, Diatomáceas, Fitoflagelados e Fitoplâncton), apresentam comportamento com anomalias (presença de valores muito diverso do normalmente observado) nos diferentes períodos considerados em relação à operação da ETE. Também, pode ser observado crescimento dos parâmetros ao longo do tempo do monitoramento, especialmente na fase final do período **antes** (cerca de 2,5 anos) da entrada em operação da ETE.

A seguir é feita uma avaliação pormenorizada do comportamento temporal de cada um dos parâmetros de qualidade da água da Lagoa dos Barros analisados em laboratório, considerando o período de monitoramento entre 06/2009 e 02/2021.

4.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

Os resultados obtidos para esse parâmetro, no período de monitoramento entre 06/2009 e 02/2021, apresenta 3 conjuntos de dados distintos, conforme indicado na Figura 71. Nessa figura a **linha azul** representa a MÉDIA GERAL (*média* = 1,10 mg/L O₂ e *desvio padrão* = 1,12 mg/L O₂) do parâmetro em análise para a Lagoa, tendo como base de dados **TODOS** os resultados disponíveis (de **TODOS** os pontos de amostragem na Lagoa e de **TODOS** os períodos).

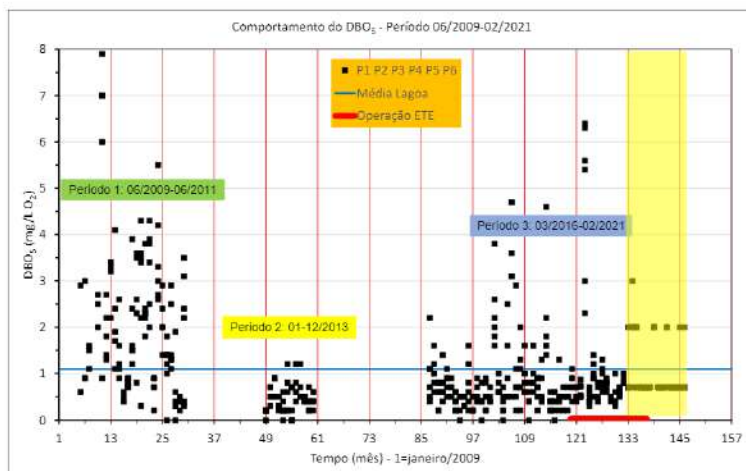


Figura 71 - Comportamento da variação do DBO₅ na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre **junho/2009 e fevereiro/2020**. Notas: a) as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano; b) na zona hachurada, os dados após o mês 133=janeiro/2020 designados nas análises de laboratório como <0,7 ou <2,0 foram definidos como =0,7 e =2,0 para fins de representação gráfica e tratamento estatístico).

O comportamento temporal é muito heterogêneo, como observado nos 3 conjuntos de dados em intervalos de tempo distintos indicados na Figura 71, e possui as seguintes características:

- **Período 1: 06/2009-06/2011.** Nesses primeiros 24 meses de monitoramento a dispersão dos valores é elevada, com os valores distribuídos predominantemente na faixa entre 0 e 4,5 mg/L O₂, e valores expúrios de até 8 mg/L O₂. Nesse contexto, aproximadamente 70% dos dados estão situados acima da média geral da Lagoa;
- **Período 2: 01-12/2013.** Nesse curto intervalo de tempo de monitoramento é onde se observa um conjunto de dados homogêneo e os menores valores de DBO₅ da série histórica, situando-se entre 0 e 1,2 mg/L O₂, com praticamente 100% dos dados situados abaixo da média geral da Lagoa;
- **Período 3: 03/2016-02/2021.** Esse intervalo de tempo abrange o período contínuo de monitoramento incluindo uma parcela do período antes da entrada em operação da ETE, durante a operação e depois de cessadas as operações. Nesse período, a maior parte dos valores (≈81% dos dados) é semelhante ao observado no Período 2, ou seja, abaixo da média geral da Lagoa numa faixa entre 0 e 1,0 mg/L O₂. Os valores muito elevados (expúrios ou extremos) estão distribuídos ao longo de todo o intervalo **antes**

da entrada em operação da ETE e restrito ao 5º mês do período **durante** a operação. No restante do período **durante** a operação (antes e após o 5º mês) os valores situam-se nos patamares do Período 2, ou seja, com valores predominantes abaixo da média, voltando a oscilar acima e abaixo da média geral da Lagoa no período final de operação e **depois** da ETE cessar as atividades.

Como visto, o comportamento do parâmetro DBO_5 na água da Lagoa dos Barros, seja em períodos de comportamento homogêneo ou heterogêneo, não guarda nenhuma relação com as fases de monitoramento (**antes**, **durante** e **depois**) em relação à operação da ETE.

4.3 Fósforo Total

A Figura 72a mostra o comportamento temporal do Fósforo Total e a sazonalidade em que ocorrem os valores máximos e mínimos. Nessa figura a **linha azul** representa a MÉDIA GERAL (*média = 0,06 mg/L P e desvio padrão = 0,02 mg/L P*) do parâmetro em análise para a Lagoa, tendo como base de dados **TODOS** os resultados disponíveis (de **TODOS** os pontos de amostragem na Lagoa e de **TODOS** os períodos). Se observarmos o período da série completa, de 2009 a 2021, nota-se uma sazonalidade "aparente" com intervalos de tempo maiores nos primeiros 5 anos, embora nesse período tenham ocorrido interrupções de monitoramento e seja difícil afirmar com um nível de confiança razoável. Já quando considerado somente o período em que o monitoramento foi ininterrupto, entre 2016 e 2021 (60 meses), conforme Figura 72b, a sazonalidade fica muito clara, sendo possível estabelecer um modelo analítico de previsão, conforme segue:

$$\text{Fósforo Total (mg/L P)} = -3,421657 \cdot 10^{-9} X^6 + 1,951461 \cdot 10^{-6} X^4 - 4,392577 \cdot 10^{-4} X^3 + 4,875575 \cdot 10^{-2} X^2 - 2,667607 X + 57,60396$$

onde: x = número do mês na escala da Figura 72b (87 = março/2016, 86 = abril/2016, ... 146 = fevereiro/2021) - **validade da função: x (87 a 146).**

Observa-se com bom nível de confiança, considerando o intervalo de tempo de 60 meses, a repetição dos valores máximos e mínimos do Fósforo Total, a cada 42 meses ou 3,5 anos, aproximadamente. Outro aspecto é a semelhança entre o modelo analítico e o comportamento cíclico das médias móveis acumulada e, especialmente, da média de 12 amostras. A quase totalidade dos dados situa-se na faixa de variação entre 0,0375 e 0,0875 mg/L P e apresenta boa simetria em relação à MÉDIA GERAL (área hachurada na Figura 72a). Claramente, no entanto, essas características quantitativas não apresentam relação com o período de monitoramento considerado, se **antes**, **durante** ou **depois** da operação da ETE.

4.4 Nitrogênio Amoniacal

Aproximadamente 90% das amostras registram concentrações menores que o limite de quantificação (LQ) do método analítico, o que não permite uma análise estatística válida dos dados. Os valores diversos de LQ observados durante o monitoramento, aparentemente, estão associados à resolução do método de análise em laboratório e podem ser sintetizados nos diferentes períodos de monitoramento conforme segue:

- entre 06/2009 a 12/2013: < 0,2 mg/L N/NH₃ (36,9% dos 97 meses amostrados);
- entre 03/2016 a 07/2018: < 5,0 mg/L N/NH₃ (29,9% dos 97 meses amostrados);
- entre 08/2018 a 02/2021: < 1,5 mg/L N/NH₃ (33,2% dos 97 meses amostrados).

Nota-se, entretanto, que no período **durante** a operação da ETE os valores são menores que 1,5 mg/L N/NH₃.

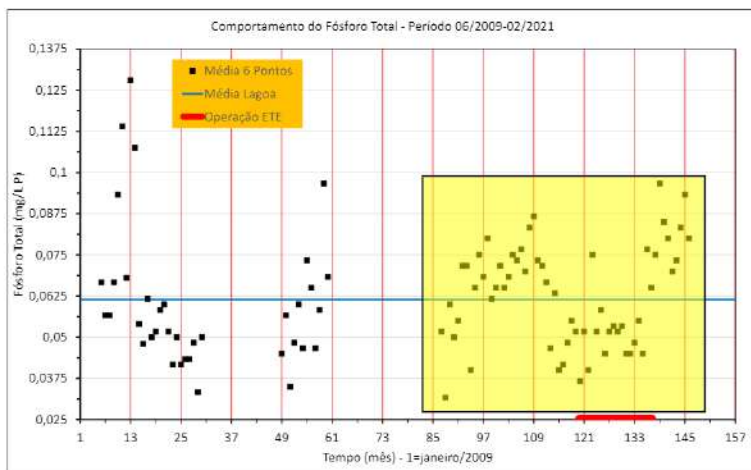


Figura 72a - Comportamento cíclico da variação sazonal da concentração do **Fósforo Total** na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre junho/2009 e fevereiro/2021. Notas: a) as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano; b) a área sombreada contém os dados do período contínuo de monitoramento entre 03/2016 e 02/2021.

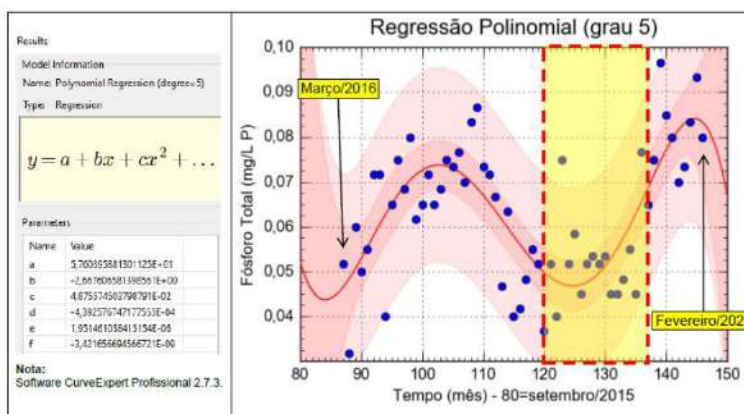


Figura 72b - Detalhe do comportamento dos resultados e do modelo analítico que explica a variação sazonal da concentração do **Fósforo Total** na Lagoa dos Barros no período contínuo de monitoramento entre março/2016 e fevereiro/2021. Nota: o retângulo em **vermelho** corresponde ao período de operação da ETE entre dezembro/2018 e maio/2020.

4.5 pH

O pH é outro parâmetro que apresenta sazonalidade, embora sem uma “lei” bem definida. A Figura 73a mostra o comportamento temporal no período integral de monitoramento (entre junho/2009 e fevereiro/2021), enquanto na Figura 73b pode ser visto o comportamento temporal somente do período contínuo de monitoramento (entre março/2016 e fevereiro/2021). Em ambas as figuras a **linha azul** cheia representa a MÉDIA GERAL do parâmetro em análise para a Lagoa, tendo como base de dados **TODOS** os resultados disponíveis (de **TODOS** os pontos de amostragem na Lagoa) no período considerado. Assim, na Figura 73a a MÉDIA GERAL (*média* = 7,28 e *desvio padrão* = 0,66) representa a série histórica de 141 meses entre 06/2009 e 02/2021. Já na Figura 73b a MÉDIA GERAL (*média* = 7,47 e *desvio padrão* = 0,58) representa os dados da série contínua de 60 meses entre 03/2016 a 02/2021, enquanto as linhas pontilhadas englobam os valores dentro da faixa abrangida pela média ± 1 **desvio padrão experimental**.

Quando analisado o período integral (Figura 73a), observa-se que a maior concentração dos resultados de pH está na faixa entre 5,0 e 8,5. No contexto da série integral, observa-se uma dispersão elevada dos dados em relação à média, em alguns períodos restritos em que o pH é <6,5: - poucos dados nos 7 meses entre 09/2009 e 03/2010; - muitos dados nos 9 meses entre 04/2013 e 12/2013 e; - muitos dados concentrados nos 5 meses iniciais do período entre 03/2016 e 07/2016.

Na série de dados contínua após março/2016 (Figura 73b), observa-se que a dispersão dos valores é aproximadamente simétrica em relação à média. O que torna menos aparente esse aspecto é um conjunto de 30 valores constantes de pH = 6 (8,5% dos dados da série) concentrado nos primeiros 5 meses do período (entre 03/2016 e 07/2016 - ver hachura na Figura 73b), que destoam sensivelmente do conjunto da série. Outro aspecto relativo à dispersão dos dados é a ocorrência cíclica, em intervalos temporais de 6-10 meses, aproximadamente, de valores mínimos e máximos na faixa englobada pela média = 7,47 $\pm$ 1 desvio padrão = 0,58. Isso ocorre pelo menos 7-8 vezes (4 mínimos e 3-4 máximos) no intervalo de 60 meses de monitoramento, sem qualquer relação com os diferentes períodos em relação à operação da ETE.

4.6 Oxigênio Dissolvido

No caso do Oxigênio Dissolvido, o comportamento mostra claramente a influência da temperatura, conforme visto na correlação na Figura 74a. Na figura, a **linha azul** cheia representa a MÉDIA GERAL (*média* = 8,44 mg/L O₂ e *desvio padrão* = 1,05) do parâmetro em análise para a Lagoa, tendo como base de dados **TODOS** os resultados disponíveis (de **TODOS** os pontos de amostragem na Lagoa e de **TODOS** os períodos). Essa influência é bem caracterizada na Figura 74b, que mostra a variação da concentração do Oxigênio Dissolvido dependendo do período do ano em que foram coletadas as amostras (extremo superior no **inverno-julho** e extremo inferior no **verão-janeiro**, com valores intermediários nos demais meses do ano). Não se observa nenhuma correlação com os diferentes períodos de monitoramento em relação à operação da ETE.

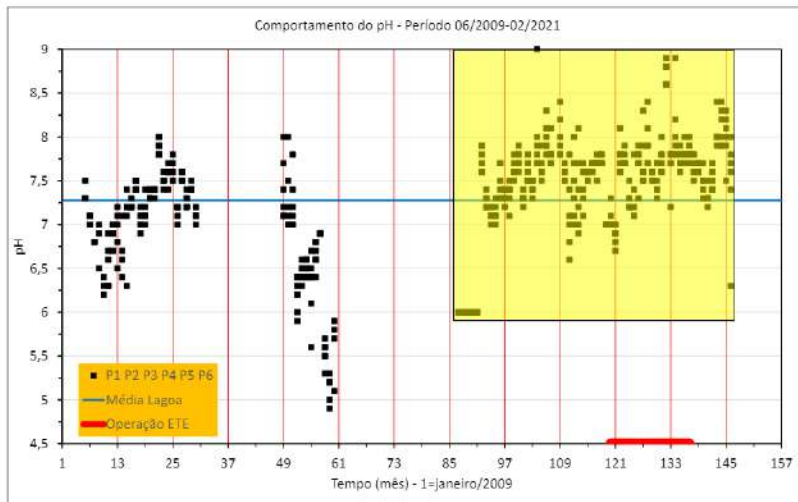


Figura 73a - Comportamento da variação do **pH** na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre **junho/2009** e **fevereiro/2021**. Notas: a) as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano; b) 1 dado da série está abaixo de 4,5 na escala vertical; c) no detalhe, a área sombreada corresponde ao período contínuo de monitoramento entre 03/2016 e 02/2021.

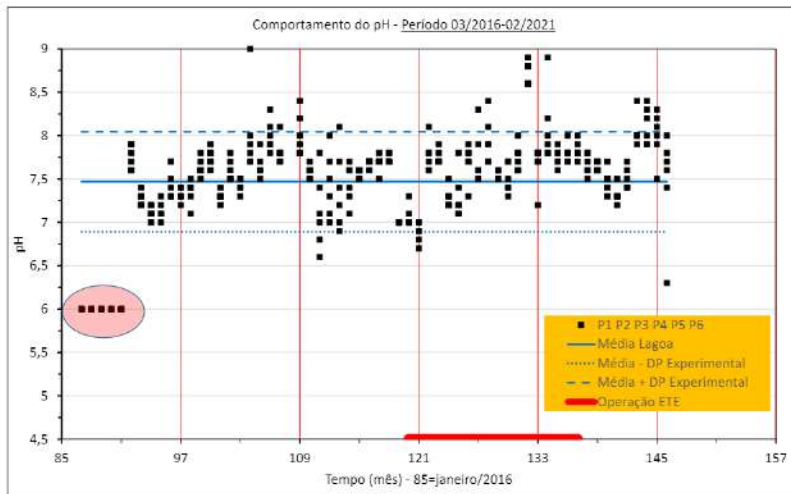


Figura 73b - Detalhe do comportamento da variação do **pH** na Lagoa dos Barros ao longo do período contínuo de monitoramento entre **março/2016** e **fevereiro/2021**. Notas: a) as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano; b) no detalhe hachurado, conjunto de 30 valores de pH = 6 ou 8,5 dos dados.

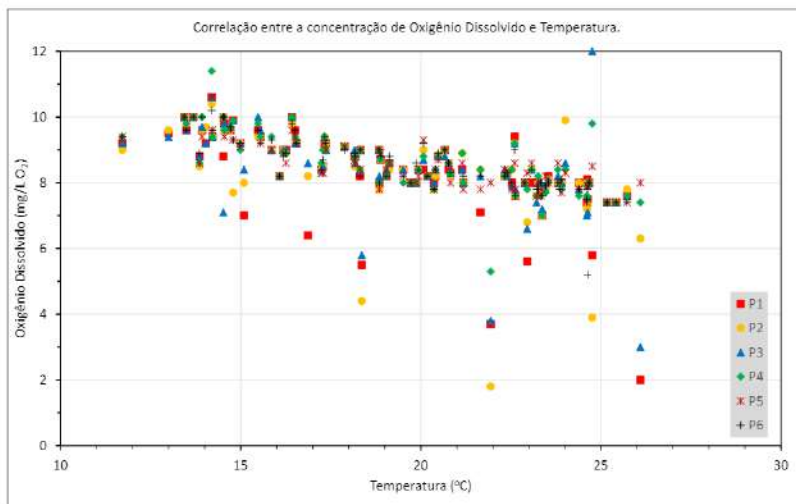


Figura 74a - Correlação entre a concentração de Oxigênio Dissolvido e a variação da temperatura ambiente na área da Lagoa dos Barros - Dados discretizados pelos 6 locais de monitoramento no período entre junho/2009 e fevereiro/2021

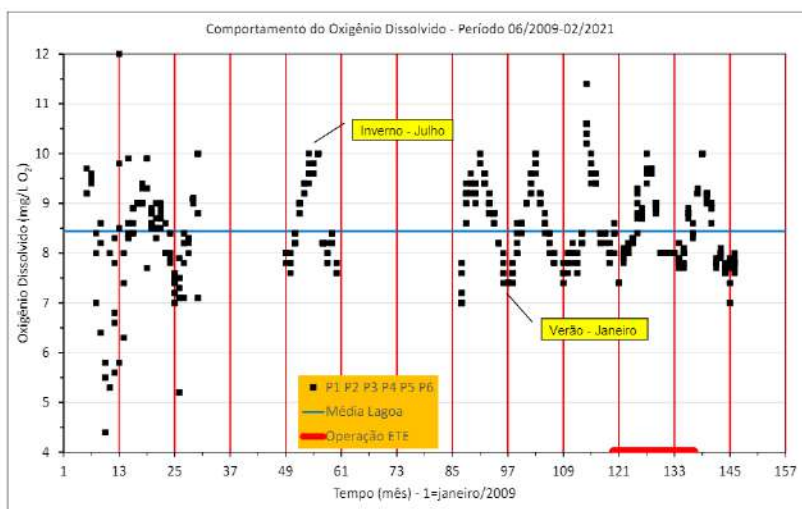


Figura 74b - Comportamento cíclico da variação sazonal da concentração do **Oxigênio Dissolvido** na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre junho/2009 e fevereiro/2021. Notas: a) as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano; b) 6 dados da série estão abaixo de 4 na escala vertical.

4.7 *Escherichia coli*

Esse parâmetro apresenta valores predominantes numa faixa entre 0,5 e 66 NMP/100 mL (cerca de 90%). Os valores discrepantes (expúrios/*outliers* ou extremos) são extremamente elevados, constituem uma parcela pouco representativa da série completa (10%) e estão concentrados no primeiro e no último ano do período de amostragem antes da entrada em operação da ETE, conforme visto na Figura 75a. Nessa figura, a **linha azul** cheia representa a MÉDIA GERAL (*média* = 55,1 NMP/100 mL e *desvio padrão* = 409,7) do parâmetro em análise para a Lagoa, tendo como base de dados **TODOS** os resultados disponíveis (de **TODOS** os pontos de amostragem na Lagoa e de **TODOS** os períodos).

Observa-se que as medidas de posição e de dispersão, tanto a MÉDIA GERAL como o desvio padrão, considerando a série de todos os dados do período de monitoramento, são extremamente afetados pelos valores discrepantes. Quando são excluídos os valores *outliers* e extremos, observa-se uma redução da média para aproximadamente 1/5 (*média* dados "filtrados" = 11,4 NMP/100 mL e *desvio padrão* = 14,9), conforme visto na Figura 75b (**linha verde** pontilhada). Em ambas as distribuições dos dados da série, seja ela tomada completa ou com valores "filtrados", o que se constata é uma dispersão relativa, traduzida pelo **Coefficiente de Variação (Desvio Padrão / Média)**, extremamente elevada (>>30%).

Em síntese, o comportamento observado para a *Escherichia coli* mostra que a dispersão dos dados é elevada e os valores discrepantes (*outliers* e extremos) pertencem ao período pré-operação da ETE. Claramente, não guarda qualquer relação com as diferentes fases de monitoramento (antes, durante e depois) em relação à operação da ETE.

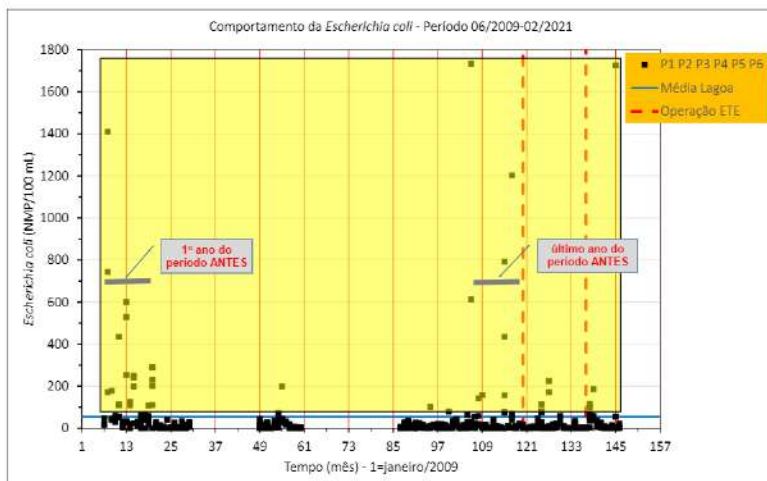


Figura 75a - Comportamento da variação da *Escherichia coli* na Lagoa dos Barros, considerando todos os dados da série, ao longo do período de monitoramento entre junho/2009 e fevereiro/2021. Notas: as linhas de grade verticais vermelhas correspondem ao mês de janeiro de cada ano; b) no detalhe hachurado, conjunto de 58 valores outliers acima de 66 ou 10% dos dados; c) o valor do P5, mês 15 (9050) não está representado devido à escala gráfica.

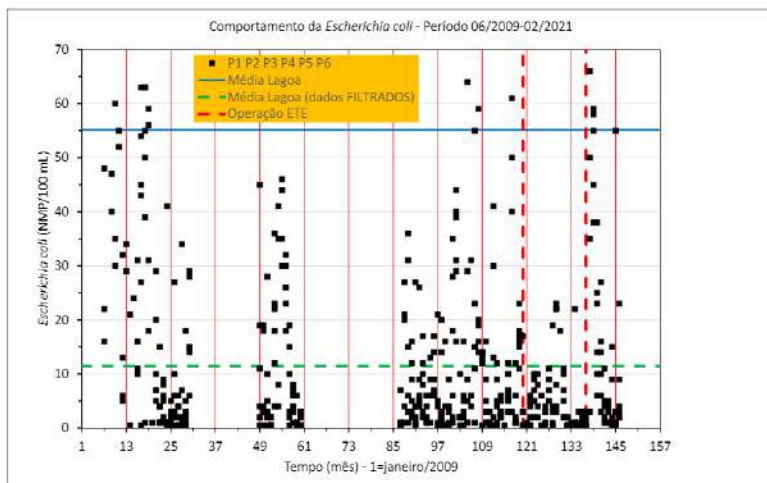


Figura 75b - Detalhe que concentra 90% dos dados mostrando o comportamento da variação da *Escherichia coli* na Lagoa dos Barros, considerando apenas os dados após a exclusão de outliers e extremos, ao longo do período de monitoramento entre junho/2009 e fevereiro/2021. Nota: as linhas de grade verticais vermelhas correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

4.8 *Cianobactérias, Clorofíceas, Diatomáceas, Fitoflagelados e Fitoplâncton*

Esses 5 parâmetros biológicos apresentam comportamento muito semelhante, sob os mais variados aspectos, conforme visto nas Figuras 76a/76b a 80a/80b e discutidos a seguir. Para exemplificar, as Figuras **a)** mostram o comportamento temporal dos parâmetros analisados na Lagoa no período entre 06/2009 a 02/2021. Por seu lado, as Figuras **b)** apresentam um detalhe do comportamento das médias móveis correspondente ao período contínuo de monitoramento entre 03/2016 a 02/2021 (série contínua de dados). Nessas figuras, a **linha azul** cheia representa a MÉDIA GERAL do parâmetro em análise para a Lagoa, tendo como base de dados **TODOS** os resultados disponíveis (de **TODOS** os pontos de amostragem na Lagoa e de **TODOS** os períodos entre 06/2009 e 02/2021). Os seguintes aspectos são similares para os 5 parâmetros analisados:

- Comparativo de médias por fase de amostragem. As médias computadas considerando períodos definidos de amostragem, de acordo com as 3 fases distintas de monitoramento, **antes, durante e depois** da entrada em operação da ETE, com raras exceções, mostraram-se significativamente DIFERENTES entre pelo menos duas fases em quase todas as formas de análise, quais sejam:
 - médias considerando os pontos de amostragem individualizados e utilizando todos os dados originais - período 06/2009-02/2021 (**Item 3.2.3**) (Exceções: Cianobactérias e Fitoflagelados apresentaram médias significativamente iguais em 3 e 6 pontos, respectivamente);
 - médias considerando os pontos de amostragem individualizados e utilizando os dados após exclusão dos valores expúrios e extremos - período 06/2009-02/2021 (**Item 3.2.3**) (Exceção: Fitoflagelados apresentou médias significativamente iguais em 3 pontos);
 - médias considerando os pontos agrupados (Lagoa como um corpo "homogêneo") e utilizando todos os dados originais - período 06/2009-02/2021 (**Item 3.2.4**);
 - médias considerando os pontos agrupados (Lagoa como um corpo "homogêneo") e utilizando os dados após exclusão dos valores expúrios e extremos - período 06/2009-02/2021 (**Item 3.2.5**);
 - médias considerando os pontos agrupados (Lagoa como um corpo "homogêneo") e utilizando todos os dados originais - período contínuo de amostragem 03/2016-02/2021 (**Item 3.2.6**).
- Comportamento temporal dos dados de amostragem. Para fins de análise do comportamento dos parâmetros biológicos, o período de monitoramento foi dividido em 5 segmentos, conforme indicado nas Figuras 76a, 77a, 78a, 79a e 80a: - 3 períodos de amostragem (intervalados com 2 períodos sem a coleta de amostras) **antes** da entrada em operação da ETE; - o período de amostragem **durante** a operação e; - o período de amostragem **depois** da parada da ETE, descritos conforme segue:
 - **Período 1 antes:** 06/2009-06/2011 e **Período 2 antes:** 01-12/2013. Nesses dois períodos de amostragem os valores observados são pouco significativos, próximos de ZERO, e quase que na integralidade inferiores à MÉDIA GERAL da Lagoa;
 - **Período 3 antes:** 03/2016-11/2018. Nesse período de amostragem imediatamente anterior ao início da operação da ETE, os valores iniciais são semelhantes aos períodos anteriores, porém, após o 5º mês, aproximadamente, os valores começaram a se comportar totalmente fora do padrão anterior, apresentando relativo crescimento, com predomínio de valores abaixo da MÉDIA GERAL, no entanto,

alternando com valores acima da MÉDIA GERAL relativamente elevados a cada 2 ou 3 meses, até o fim do período;

- **Período Operação ETE:** 12/2018-05/2020. Durante todo o período de operação da ETE a tendência de crescimento é semelhante à do final do período anterior, ou seja, os valores continuaram apresentando relativo crescimento, com predomínio de valores acima da MÉDIA GERAL e aumento da frequência de valores elevados (algumas vezes extremamente elevados) a cada 2 ou 3 meses, até o fim do período. As exceções foram as Diatomáceas e o Fitoplâncton que iniciaram um ciclo de queda pouco antes do fim do período de operação da ETE;
- **Período depois:** 06/2020-02/2021. Esse período é marcado pela queda nos valores dos diversos parâmetros analisados para níveis inferiores ao da MÉDIA GERAL, como observado no **Período 1 antes**, **Período 2 antes** e no **início do Período 3 antes**. As exceções foram as Diatomáceas e o Fitoplâncton, que voltaram a apresentar valores bem acima da MÉDIA GERAL nos últimos 3 meses do período.
- **Comportamento temporal das médias móveis.** O comportamento das Médias Móveis, Acumulada e 12 Amostras, foi abordado no **Item 3.2.7** considerando a evolução dos dados ao longo de todo o período de amostragem 06/2009-02/2021, ilustrado nas Figuras 66a a 70a, e a evolução das médias móveis ao longo do período contínuo de amostragem 03/2016-02/2021, conforme visto nas Figuras 66b a 70b. Esse tipo de análise estatística permitiu, para cada parâmetro, a observação dos valores discretos de monitoramento individualizados por data de amostragem conjuntamente com a evolução da média móvel, durante as três fases de monitoramento em relação à operação da ETE (**antes**, **durante** e **depois**) ao longo do período temporal considerado (integral e parcial contínuo).

Com a Média Móvel 12 Amostras foi possível observar a influência de variações sazonais de curto prazo (12 meses) apresentadas pelos diferentes parâmetros de qualidade da água. Esse tipo de média mostrou ciclos de subidas e descidas dos valores dos parâmetros biológicos, com patamares mínimos e máximos se alternando, especialmente no período contínuo de amostragem (Figuras 76b a 80b). Essa alternância ocorre tanto dentro de uma mesma fase de monitoramento como entre fases diferentes (entre **antes** e **durante** ou entre **durante** e **depois**, por exemplo).

Já a Média Móvel Acumulada tornou visível a evolução e a tendência do comportamento, tanto dos dados como da média, de forma contínua dentro de cada fase e na transição de uma fase para a outra em relação à operação da ETE, especialmente nas fases **antes** e **durante** a operação. Esse comportamento pode ser descrito da seguinte forma, em função do período de monitoramento considerado na análise:

- **Período Integral - 06/2009-02/2021.** Quando são considerados todos os dados da série histórica, o comportamento dos diferentes parâmetros biológicos mostra que o ciclo de alteração/crescimento desses parâmetros tem início **cerca de 2 anos antes da entrada em operação da ETE**, continuando na mesma taxa de crescimento durante a fase de operação (ver no **Item 3.2.7** a evolução da Média Móvel Acumulada nas Figuras 66a a 70a). A continuidade do crescimento da média móvel acumulada durante a fase de operação se explica pelo fato de que os valores dessa fase são muito superiores aos valores dos períodos iniciais da fase antes da operação, além de manter a mesma tendência de crescimento observada nos últimos 2 anos que antecedem à entrada em operação da ETE. A exceção são os Fitoflagelados, que apresentam tendência de queda dos valores já antes do final da

fase de operação da ETE e, por isso, é possível observar uma estabilização da média móvel acumulada;

- **Período Parcial Contínuo - 03/2016-02/2021.** Quando o período avaliado envolve um intervalo de tempo menor da fase pré-operação da ETE (33 meses contra 70 meses no período integral), o comportamento é semelhante. Igualmente, o ciclo de alteração/crescimento dos parâmetros biológicos tem início cerca de 2 anos antes da entrada em operação da ETE, ao passo que durante a fase de operação a média móvel acumulada apresenta leve crescimento ou se mantém no mesmo patamar do final do período antes da operação (Fitoflagelados), conforme visto em detalhe nas Figuras 76b a 80b.

Em síntese, os aspectos acima descritos acerca do comportamento dos diferentes parâmetros biológicos na Lagoa dos Barros, independentemente no período de monitoramento analisa (se 2009-2021 ou 2016-2021), mostram que o ciclo de alteração/crescimento dos parâmetros biológicos tem início cerca de 2 anos antes da entrada em operação da ETE, continuaram nessa tendência durante a fase de operação, com poucas diferenças de comportamento entre os períodos considerados nas análises e entre os diferentes parâmetros de qualidade da água analisados.

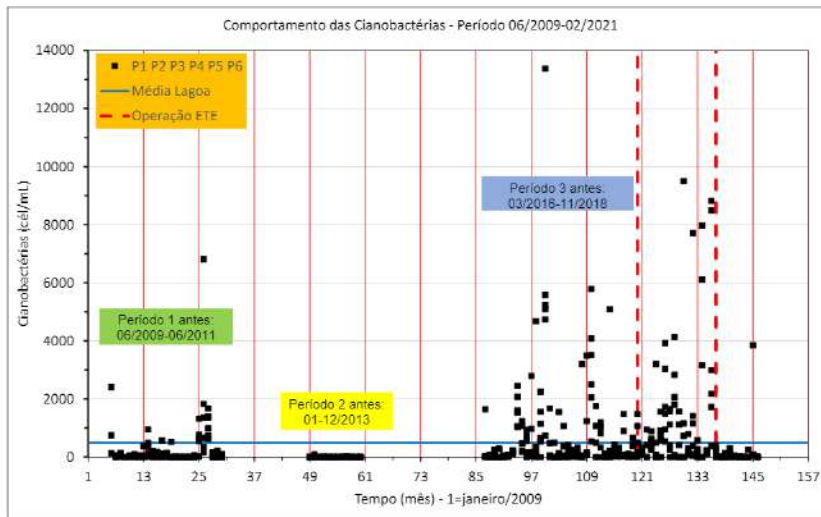


Figura 76a - Comportamento da variação das **Cianobactérias** na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre **junho/2009** e **fevereiro/2021**. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

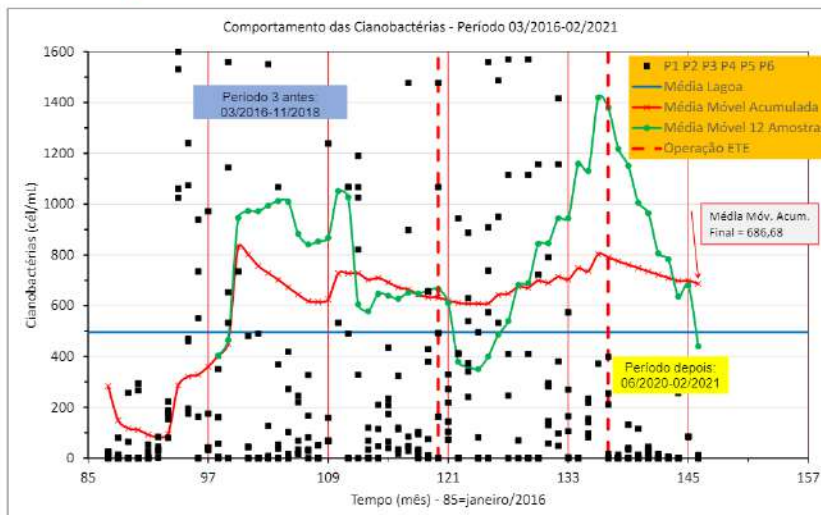


Figura 76b - Detalhe do comportamento das médias móveis das **Cianobactérias** no período de monitoramento contínuo entre **março/2016** e **fevereiro/2021**. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

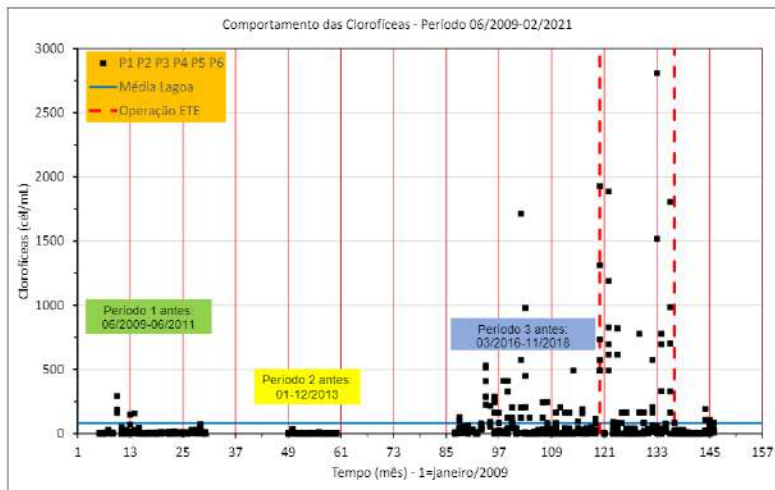


Figura 77a - Comportamento da variação das **Clorofíceas** na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre junho/2009 e fevereiro/2021. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

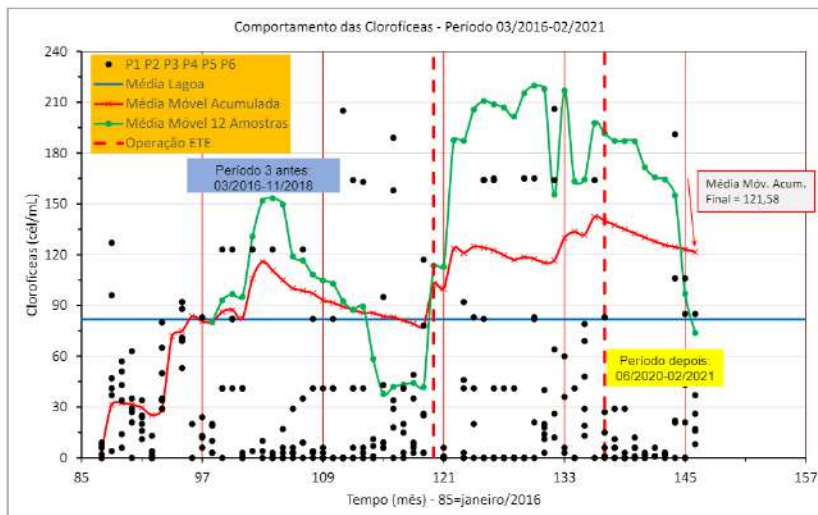


Figura 77b - Detalhe do comportamento das médias móveis das **Clorofíceas** no período de monitoramento contínuo entre março/2016 e fevereiro/2021. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

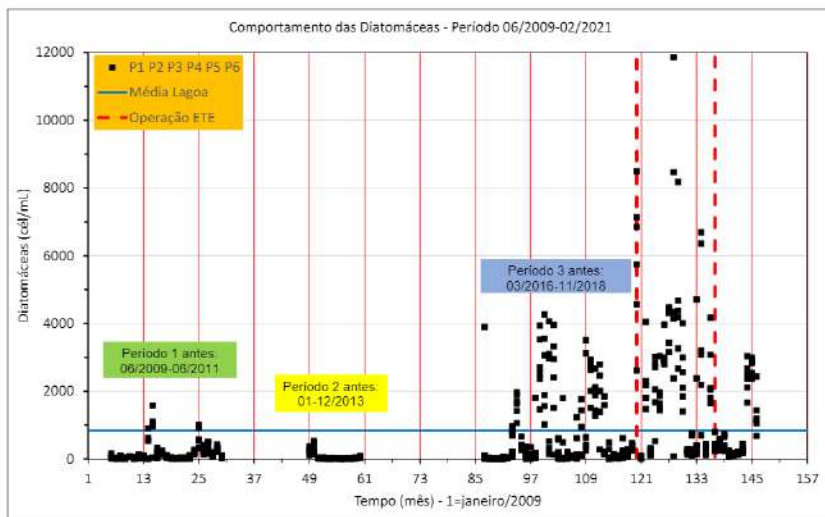


Figura 78a - Comportamento da variação das **Diatomáceas** na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre **junho/2009** e **fevereiro/2021**. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

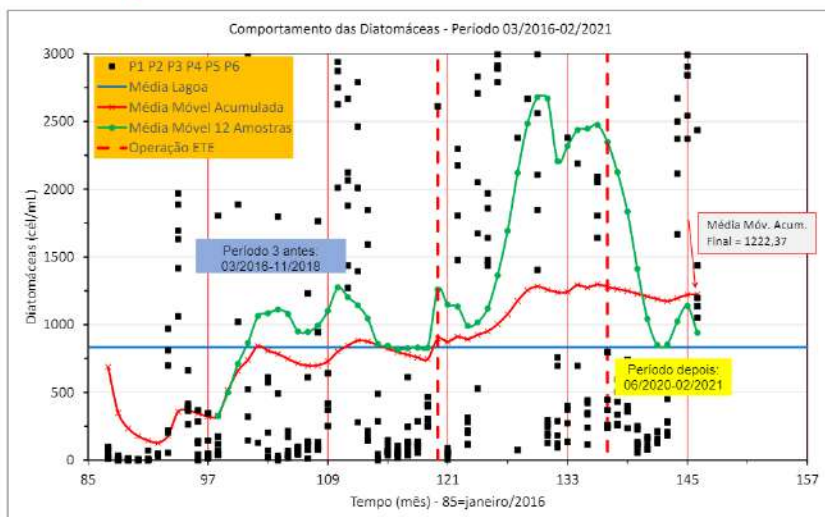


Figura 78b - Detalhe do comportamento das médias móveis das **Diatomáceas** no período de monitoramento contínuo entre **março/2016** e **fevereiro/2021**. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

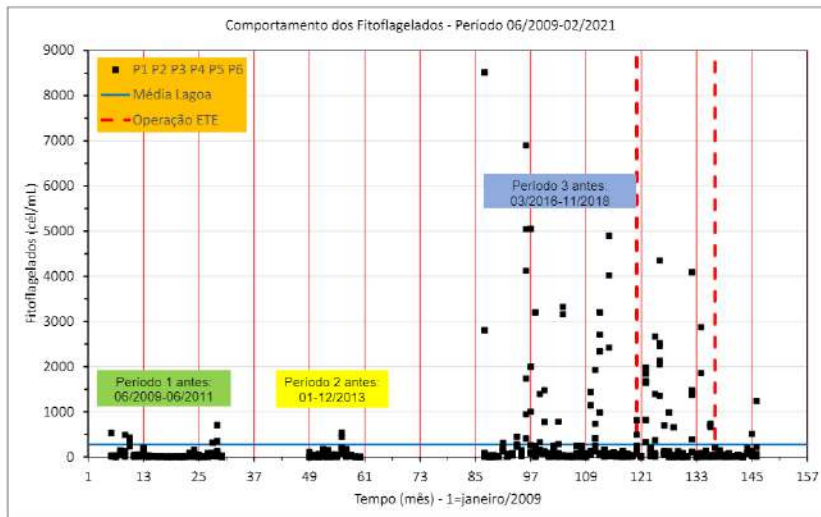


Figura 79a - Comportamento da variação dos **Fitoflagelados** na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre **junho/2009** e **fevereiro/2021**. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

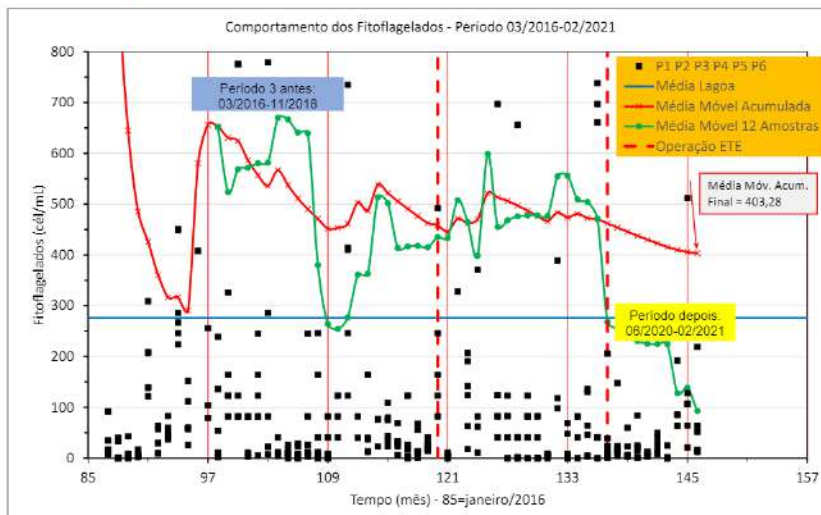


Figura 79b - Detalhe do comportamento das médias móveis dos **Fitoflagelados** no período de monitoramento contínuo entre **março/2016** e **fevereiro/2021**. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

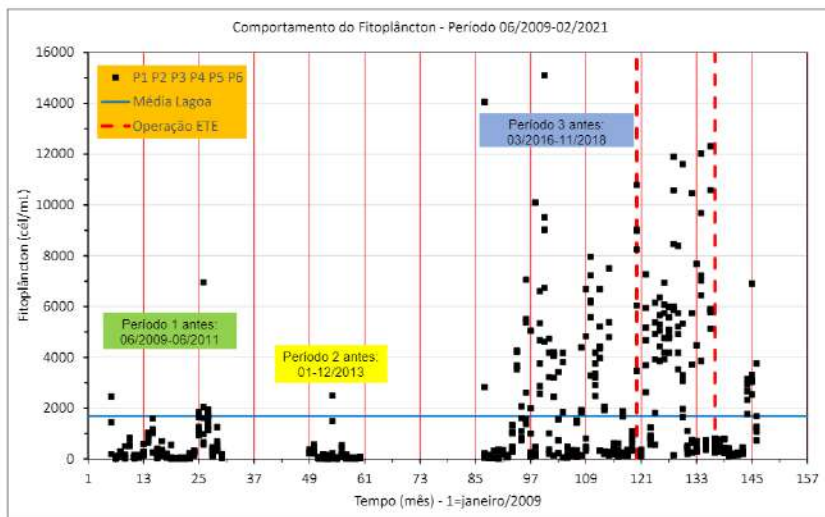


Figura 80a - Comportamento da variação do **Fitoplâncton** na Lagoa dos Barros ao longo do período de monitoramento entre junho/2009 e fevereiro/2021. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

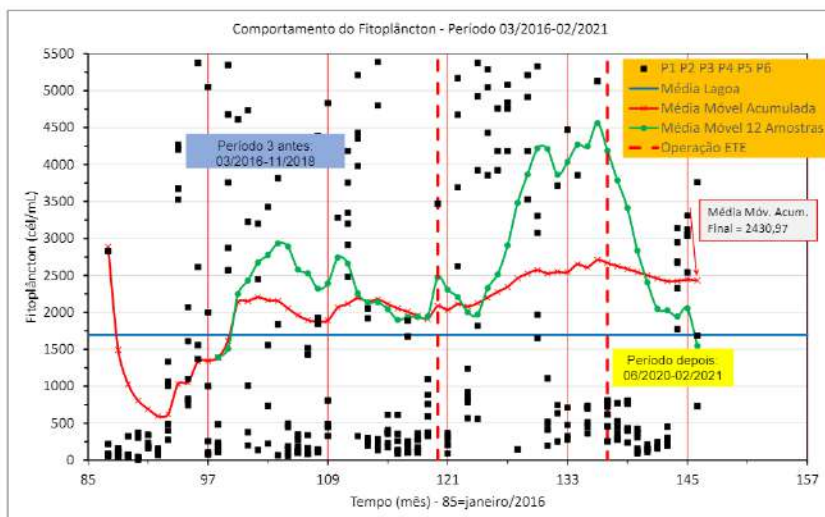


Figura 80b - Detalhe do comportamento das médias móveis do **Fitoplâncton** no período de monitoramento contínuo entre março/2016 e fevereiro/2021. Nota: as **linhas de grade verticais vermelhas** correspondem ao mês de janeiro de cada ano.

5 Determinação da Incerteza de Medição

Neste item, é apresentada apenas uma síntese dos resultados obtidos quanto à incerteza de medição, bem como é definido o parâmetro de incerteza mais adequado para uso no modelamento do comportamento da qualidade da água da Lagoa dos Barros no longo prazo, considerando a operação da Estação de Tratamento de Esgotos de Osório a partir de dezembro de 2018. A técnica empregada e o detalhamento dos procedimentos adotados para o cálculo da incerteza de medição são apresentados no Anexo 2.

A incerteza de medição consiste no valor associado ao resultado de uma medição (valor de uma única ou a média de um conjunto) que caracteriza a dispersão do valor que pode ser razoavelmente atribuído à grandeza medida ou mensurando (quantidade particular submetida a medição). Não confundir a dispersão do valor que representa um conjunto de medições (**desvio padrão da média = incerteza de medição**) com a dispersão dos valores do conjunto de medições (**desvio padrão experimental**). A incerteza de uma medição, portanto, é a dúvida que existe a respeito da validade do resultado que representa a(s) medição(ões) realizadas e, em última análise, diz respeito à qualidade da medição.

Os resultados da computação da incerteza de medição do valor médio atribuído aos diferentes parâmetros de qualidade da água da Lagoa dos Barros analisados, no período entre 2009 e 2021, mostraram-se pouco consideráveis quando comparados com a dispersão da série de dados, representada pelo desvio padrão experimental.

Para exemplificar, essa constatação foi sintetizada no Quadro 29, onde são comparados os resultados de cada parâmetro de qualidade da água (média, desvio padrão experimental, incerteza de medição), considerando os dados agrupados das três fases em relação a operação da ETE. Nessa síntese é possível observar a pequena proporção da incerteza de medição (incerteza-padrão) em relação à dispersão experimental dos dados de cada parâmetro de qualidade da água. Isso se verifica mesmo quando a incerteza de medição é relativamente elevada em relação ao valor da média do parâmetro (no caso da *Escherichia coli*, u corresponde a 31,5% do valor da média, comparado com os 743% do desvio padrão - ver Quadro 29). Os valores do desvio padrão experimental são extremamente elevados comparados com a incerteza-padrão. As exceções são os desvios dos parâmetros pH e Oxigênio Dissolvido, que apresentam valores muito baixos, ainda assim bem superiores à incerteza-padrão.

Com base nas constatações acima, amparadas no detalhamento das análises no Anexo 2, recomenda-se o uso do desvio padrão experimental como "incerteza experimental" (ao invés da incerteza-padrão, $u_{p, 68\%}$ ou a expandida, $U_{p, 95\%}$) associado à média de cada parâmetro de qualidade da água. Nos quadros 30 e 31 são apresentados os valores médios + incerteza experimental dos diferentes parâmetros de qualidade da água nas três fases (**antes**, considerado como background da Lagoa, **durante** e **depois**) em relação à operação da ETE, os quais poderão ser utilizados para modelamento do comportamento da água da Lagoa dos Barros, considerando diferentes condições de operação e lançamento de efluentes da ETE na Lagoa, além de períodos diferenciados de interesse.

Os valores apresentados nesses quadros contemplam os seguintes parâmetros de qualidade analisados em laboratório:

- DBO₅ (mg/LO₂)
- Fósforo Total (mg/L P)
- pH
- Oxigênio Dissolvido (mg/L O₂)
- *Escherichia coli* (NMP/100 mL)
- Cianobactérias (cél/mL)
- Clorofíceas (cél/mL)
- Diatomáceas (cél/mL)
- Fitoflagelados (cél/mL)
- Fitoplâncton (cél/mL)

Para tanto, foram utilizadas duas das diferentes abordagens apresentadas nas análises estatísticas dos dados:

- a) **Pontos de Amostragem Discretizados:** o parâmetro analisado foi individualizado por ponto de amostragem e fase em relação à operação da ETE (Quadros 30a, 30b e 30c);
- b) **Pontos de Amostragem Agrupados:** os dados dos 6 pontos de amostragem foram agrupados e o parâmetro analisado foi individualizado apenas pela fase em relação à operação da ETE (Quadro 31).