

II-383 – OPERAÇÃO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO RIO GRANDE DO NORTE**Dayana Melo Torres⁽¹⁾**

Bióloga e Tecnóloga em Gestão Ambiental. Mestranda em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPgES/UFRN).

Odênia Alves de Lima e Silva

Tecnóloga em Gestão Ambiental. Mestranda em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPgES/UFRN). Técnica em Controle Ambiental da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

André Luís Calado Araújo

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia Sanitária. PhD em Eng. Sanitária (University of Leeds-Reino Unido). Professor da Diretoria de Educação e Tecnologia de Recursos Naturais do IFRN. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária (PPgES/UFRN). acalado@ifrn.edu.br

Cícero Onofre de Andrade Neto

Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPgES/UFRN). cicero@ct.ufrn.br

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária (UFRN/PPgES), Campus Universitário, BR 101 s/n Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal/RN, Brasil. Telefone: +55 (84) 8845-0040/3663-7733/3215-3775. E-mail: dmelotorres@yahoo.com.br

RESUMO

O Rio Grande do Norte (RN) possui mais de 90% dos sistemas de tratamento de esgotos composto por lagoas de estabilização, tendo como órgãos gerenciadores a CAERN, os municípios e os SAAE. O trabalho avalia a operação dos sistemas de lagoas de estabilização do RN, e caracteriza o esgoto bruto do Estado. Desde 2006 são feitas visitas as ETE, aplicados questionários, avaliadas as questões de operação e manutenção, e são coletadas amostras do esgoto bruto analisando-se os seguintes parâmetros: temperatura, pH, DBO, DQO, coliformes termotolerantes, fósforo total e sólidos sedimentáveis. A CAERN detém a gestão dos esgotos em 79% dos municípios, enquanto que os SAAE são responsáveis por 5% e os municípios por 16%. A configuração predominante é a de uma lagoa facultativa, seguida de duas de maturação (51%). O tratamento preliminar está presente em 50% de todos os sistemas. 65% das ETE no estado contam com pelo menos um operador enquanto que nos 35% não é realizada nenhuma prática operacional de rotina. No entanto, a presença do operador no sistema não significa que o mesmo está sendo operado corretamente. Os operadores desconhecem as práticas operacionais de rotina, não usam equipamentos de proteção individual, e em muitos casos eles não trabalham exclusivamente na operação da ETE. Considerando os dados da CAERN (2008 – 2009) o esgoto bruto do RN, apresenta médias de DBO, DQO e coliformes termotolerantes de 345 mg/L, 1169 mg/L, e $5,25 \times 10^8$ ufc/100ml, respectivamente. Conclui-se que o funcionamento de lagoas de estabilização no RN é deficitário, porque os sistemas não possuem um conjunto operacional adequado, repercutindo diretamente na eficiência do tratamento e na qualidade dos efluentes.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas de estabilização, manutenção, operação.

INTRODUÇÃO

O Brasil não apresenta cobertura uniforme de saneamento básico, sendo verificados os maiores índices de cobertura nas regiões sudeste e sul (BRASIL, 2006). Dos 5.507 municípios brasileiros, somente 52% e 34% dos domicílios, são atendidos por rede geral de esgoto e tratamento, respectivamente. No Brasil apenas 36% do volume urbano coletado de esgoto é submetido a algum tipo de tratamento enquanto que 85% do esgoto não tratado é despejado no meio ambiente, geralmente em rios. Onde não há rede de esgotamento sanitário, 48% dos dejetos vão para fossas ou tanques sépticos, e 42%, para valas abertas. Quanto ao tipo de tratamento adotado, observa-se que o tratamento por lagoas de estabilização, mais especificamente do tipo facultativa, é o processo de tratamento mais utilizado, ultrapassando 27% (IBGE, 2008).

Na região Nordeste, 45,6% dos municípios conta com rede de esgotamento, no entanto, os domicílios atendidos representam apenas 15%, indicando cobertura insuficiente. Do volume de esgoto urbano coletado, apenas 14% é submetido a tratamento e 65,8% do esgoto não tratado é despejado nos rios (IBGE, 2008).

No Estado do Rio Grande do Norte (RN), a exploração dos sistemas de água e esgoto é feita pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN), em forma de concessão. A Companhia atua em 146 municípios e 51 possuem lagoas de estabilização como principal forma de tratamento, o que corresponde a 90% da totalidade de sistemas de tratamento de esgotos do RN.

A discussão sobre técnicas de tratamento de efluentes tem ressaltado o tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização como uma das técnicas mais bem aceitas na maior parte dos estados brasileiros, contemplando economia no custo de implantação e acima de tudo simplicidade na operação e manutenção. Arelados a estas características, diversos fatores socioeconômico-ambientais também fazem jus, no Brasil, à sua aceitabilidade perante os demais processos e técnicas de tratamento de efluentes, tais como: suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades; clima favorável (temperatura e insolação elevada) durante o ano todo, e, sobretudo a necessidade de pouco ou nenhum equipamento.

A sua operacionalização, quando bem monitorada, tem mostrado elevado percentual na eficiência, no que concerne à remoção de DBO_5 e de coliformes termotolerantes. Quando bem projetadas e operadas, reduz de maneira significativa a probabilidade de exalar maus odores, o que justifica a sua grande aceitabilidade onde são implantadas. Quando há intenção na prática de reúso do efluente tratado, a maioria dos parâmetros enquadra-se neste tipo de prática, seja ela agrícola, hidropônica, aquicultura ou reúso urbano.

Da totalidade de sistemas de lagoas de estabilização no RN, somente um pequeno percentual apresenta o conjunto operacional adequado. Assim, os elevados volumes de efluentes tratados precisam de gestão adequada e monitoramento constante, uma vez que o destino final são geralmente os corpos hídricos.

A operacionalização, seguida de um monitoramento, são fases esquecidas não só nos sistemas de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização, mas na maioria dos tipos existentes. A falta de pesquisas e estudos efetivos, bem como consistentes nessa área tem gerado uma lacuna no que diz respeito a influência dessas fases na eficiência dos sistemas de tratamento. Dessa forma, é necessária a criação e manutenção de um banco de informações sobre os sistemas existentes no estado, como foram projetados, como são operados, quais as suas eficiências e, quais os parâmetros reais mais adequados para o dimensionamento de novos sistemas.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência e a operação e manutenção dos sistemas de lagoas de estabilização no Rio Grande do Norte, ressaltando-se os principais aspectos de seu funcionamento, bem como apresentar uma caracterização do esgoto bruto do Estado. A pesquisa foi financiada pela Fundação Nacional de Saúde, FUNASA-BRASIL, convênio nº 1237/07.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Estado do Rio Grande do Norte, com uma superfície de 52.810 km², o que corresponde a 0,62% do território nacional e 3,41% da Região Nordeste. O RN é composto por 167 municípios, com uma população de 3.168.133 habitantes. A pesquisa abrangeu 51 municípios que coletam e tratam seus esgotos por meio de lagoas de estabilização. O trabalho verificou todos os sistemas de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização, em operação no Rio Grande do Norte, seguindo a mesma metodologia de Silva Filho (2007).

Para as análises quantitativas, foram aplicados questionários, durante as visitas aos sistemas de lagoas, com a finalidade de quantificar o número de ETE com funcionalidade adequada, diagnosticando a eficiência na remoção de DBO_5 e coliformes fecais e suas características operacionais. Este estudo sobre a operação de lagoas de estabilização no RN foi iniciado em 2006 e concluído em 2010. Os dados da CAERN de monitoramento dos sistemas de lagoas de estabilização obtidos em 2008 e 2009 foram utilizados para caracterizar o esgoto bruto do estado e as eficiências dos sistemas de tratamento.

Durante o ano de 2010, dez sistemas de lagoas de estabilização, representando diferentes regiões do estado, todos com a mesma configuração (tratamento preliminar, lagoa facultativa primária e duas lagoas de

maturação) e sendo relativamente bem operados, foram avaliados sistematicamente com uma frequência maior de coletas, e os resultados da caracterização dos esgotos brutos afluentes também estão apresentados neste trabalho. As variáveis avaliadas estão apresentadas na Tabela 1 (APHA *et. al.*, 2005).

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, métodos e referências.

Parâmetros	Métodos
pH	Potenciométrico/Eletrométrico
Temperatura	Termômetro de filamento de mercúrio
Coliformes termotolerantes e <i>Enterococcus</i> sp.	Membrana filtrante
DBO ₅	Frascos padrões – Iodométrico (oxigênio)
DQO	Refluxação fechada
Fósforo total e Ortofosfato solúvel	Digestão ácida – Cloreto estanhoso
Amônia e Nitrogênio orgânico	Micro Kjeldhall
Série de sólidos	Gravimétrico
Sólidos sedimentáveis	Visualização em Cone de Imhoff

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da totalidade de 83 sistemas de lagoas, 78 tratam esgotos domésticos de forma natural, enquanto que os demais tratam esgotos provenientes de indústrias, tanques sépticos ou fossas ou, então, são aerados mecanicamente. Assim, não foram considerados os sistemas de tratamentos dos distritos industriais de Natal (dois sistemas compostos por lagoas aeradas de mistura completa e lagoas aeradas facultativas) e a lagoa aerada facultativa do km 6 (Bairro das Quintas), nem os sistemas de lagoas que tratam os resíduos esgotados de tanques sépticos (dois sistemas compostos por lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação).

Por meio das Figuras 1 e 2 é possível verificar que a maioria dos sistemas (79%) é operado pela CAERN. O município é responsável pela operação de 16% dos sistemas, enquanto que os 5% restantes são de responsabilidade do SAAE.

Com relação à configuração, o sistema formado por lagoa facultativa primária seguida de duas lagoas de maturação é o mais adotado no estado, correspondendo a 51% dos sistemas. As ETEs compostas por lagoa facultativa primária e uma lagoa de maturação consistem no segundo mais predominante, com 21%, enquanto que 17% dos sistemas apresentam apenas uma lagoa facultativa primária. Sistemas envolvendo uma fase anaeróbia (lagoa anaeróbia ou tanque séptico) seguida de lagoas facultativas e de maturação são os menos utilizados, representando cerca de 11% dos sistemas existentes.

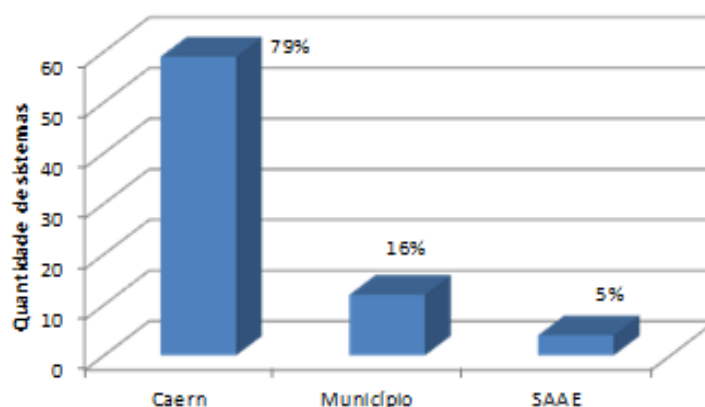


Figura 1 – Divisão dos sistemas quanto ao órgão gestor.

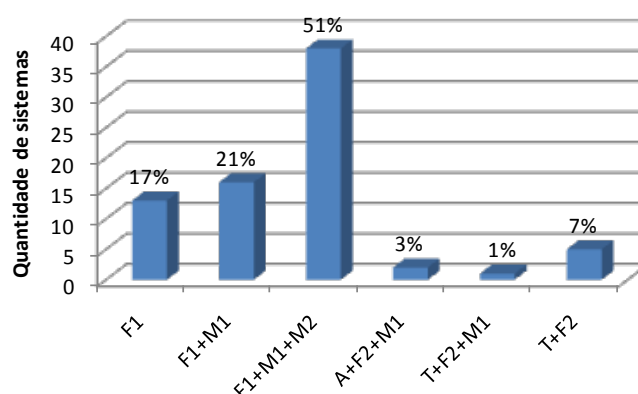


Figura 2 – Divisão dos sistemas quanto a sua configuração.

Leia-se: F1: facultativa primária; F2: facultativa secundária; M1: maturação primária; M2: maturação secundária; A: anaeróbia; T: tanque séptico.

É importante destacar que apenas 50% dos sistemas (39 ETEs) apresentam unidade de tratamento preliminar composta por grade e caixa de areia. A inexistência de tratamento preliminar em alguns sistemas consiste num dos principais fatores que prejudica o tratamento, pois vários estão completamente assoreados.

Durante as visitas de campo foi observado que dos 83 sistemas visitados, 54 (65%) apresentam pelo menos um operador enquanto que nos 29 sistemas restantes (35%) não é realizada nenhuma prática operacional de rotina. Destaca-se que a simples presença do operador no sistema não significa que o mesmo está sendo corretamente operado. Na maioria das ETEs os operadores desconhecem as práticas operacionais de rotina, não usam equipamentos de proteção individual, embora os possuam, e em muitos casos eles não trabalham exclusivamente na operação da ETE. A Figura 3 resume algumas das características operacionais dos sistemas.

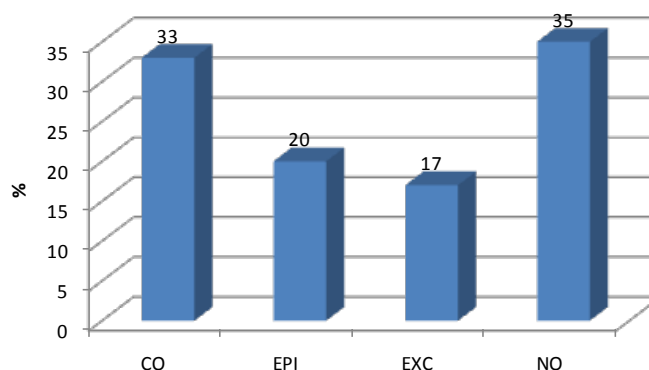


Figura 3 – Características operacionais dos 49 sistemas com operação de rotina.

Leia-se CO: conhecem as práticas operacionais; EPI: tem e utilizam os equipamentos de proteção individual; EXC: trabalham exclusivamente na ETE; NO: sistemas não operados.

Entre as atividades operacionais mais destacadas pelos operadores dos sistemas como essenciais para o seu melhor funcionamento estão a limpeza da unidade de tratamento preliminar e a remoção de lodos flotante e de fundo. Na Figura 4 é possível verificar a frequência de limpeza dessas unidades pelos operadores. A Figura 5 destaca a frequência de remoção de lodo flotante das lagoas. Destaca-se que a operação ocasional nas Figuras 4 e 5 referem-se à atividade sem uma frequência definida, geralmente realizada devido à intimação do Ministério Público.

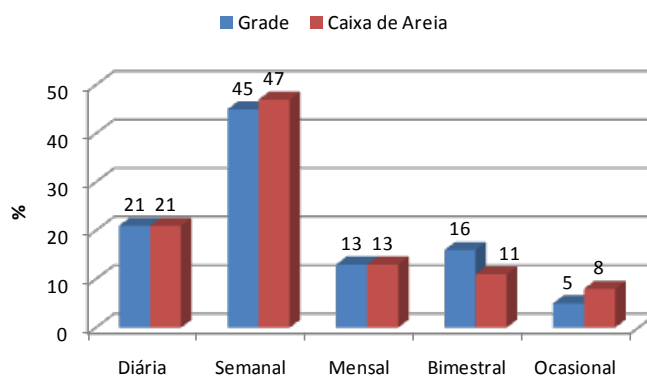


Figura 4 – Frequência de limpeza das unidades do tratamento preliminar presentes em 38 ETE's.

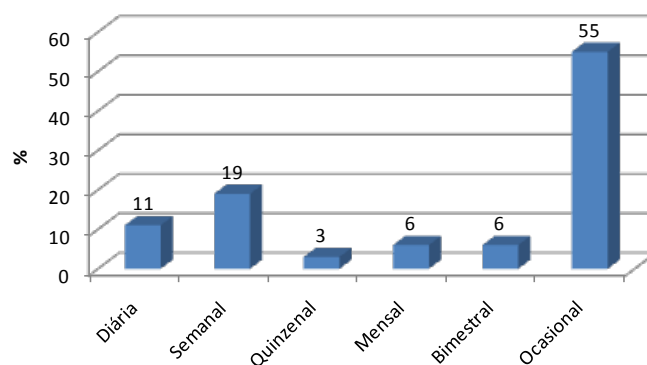


Figura 5 – Frequência de remoção de lodo (flotante) nas 75 ETEs avaliadas.

Do monitoramento realizado pela CAERN nas suas ETE, durante os anos de 2008 e 2009, resultou a caracterização do esgoto bruto no estado de acordo com o apresentado na Tabela 2. Destaca-se uma DBO média de 345 mg/L e uma DQO média de 1159 mg/L. As grandes amplitudes de variação podem ser justificadas pela falta de homogeneização dos dados pois a quantidade de resultados não é a mesma para cada sistema o que pode tender para os valores vindos de estações com o maior número de dados. Além disso, em várias ocasiões não se tinha resultados de todas as variáveis.

Do mesmo banco de dados do monitoramento da CAERN (2008 – 2009) foram estimadas as eficiências médias das ETE nas remoções de DBO, DQO e coliformes termotolerantes (Tabela 3). Por falta de dados das variáveis operacionais (cargas aplicadas, tempos de detenção, tempo de operação, etc.), as eficiências foram agrupadas por configuração dos sistemas.

Tabela 2 – Caracterização média do esgoto bruto no estado do Rio Grande do Norte.

Variáveis	N	Média	Mínimo	Máximo
DBO ₅ (mg/l)	113	345	102	1005
DQO (mg/l)	164	1159	160	2304
pH	144	7,3	6,3	8,6
Sólidos Sedimentáveis (ml/l)	159	9,1	0,2	205
Temperatura (°C)	158	28,5	21,0	32,0
Coliformes fecais (UFC/100ml)	155	5,25x10 ⁸	1,01x10 ²	8,50x10 ⁹
Fósforo total (mg/l)	51	16,1	0,3	41,1

Tabela 3 – Eficiência média na remoção de DBO₅, DQO e coliformes termotolerantes das ETE em função das suas configurações.

Configuração do sistema	Eficiência média (%)		
	DBO ₅	DQO	Coliformes
TS + F2	41	42	95,4
F1	44	45	96,0
F1+M1	56	56	98,3
F1+M1+M2	58	60	99,6

A análise permite afirmar que a maioria dos sistemas está com eficiência de remoção de DBO₅ e DQO abaixo do esperado. Em relação à remoção de coliformes termotolerantes, é importante destacar que pela configuração dos sistemas, com no máximo duas lagoas de maturação, não se pode esperar uma remoção tão significativa de microorganismos.

Como esperado, a série formada por lagoa facultativa primária seguida por duas lagoas de maturação foi a que apresentou, em média, melhor desempenho nas remoções de matéria orgânica e microorganismos. Vale destacar que este tipo de configuração é também o de mais recente utilização e são os que apresentam maiores tempos de detenção hidráulica. Por outro lado, os sistemas com tanques sépticos precedendo uma lagoa facultativa secundária foram os que apresentaram pior desempenho. Nestes sistemas, os tanques sépticos são precariamente operados e estão completamente cheios de lodo, funcionando praticamente como caixas de passagem, causando sobrecarga orgânica nas lagoas facultativas secundárias que provavelmente trabalham como facultativas primárias ou até mesmo como lagoas anaeróbias. Tais sistemas são mais antigos e, muito provavelmente, já recebem cargas orgânicas e hidráulicas bem superiores as de projeto.

Considerando todo o RN, a eficiência média de remoção de DBO₅ foi de 55%, de DQO foi de 58% e de coliformes termotolerantes foi de 99,1%. O efluente final lançado no meio ambiente apresenta concentrações médias de 166 mg/L, 580 mg/L e 2,9x10⁶ ufc/100 ml, respectivamente para DBO₅, DQO, e coliformes termotolerantes, ou seja, semelhante a esgoto bruto “fraco”.

As características médias dos esgotos brutos afluentes aos 10 sistemas de lagoas de estabilização estudados em 2010 (165 resultados para cada variável) estão apresentadas na Tabela 4.

Os valores médios de pH variaram entre 6,8 e 7,5 (média de 7,2) estando dentro da faixa de valores comumente observada para esgoto bruto. As temperaturas médias foram elevadas e ficaram próximas a 30° C sendo uma característica própria de esgotos na região de estudo.

A Figura 6 destaca as concentrações médias de DBO e DQO nos esgotos afluentes as 10 estações de tratamento de esgotos. As menores concentrações de DBO e DQO foram verificadas nas ETE de Ponta Negra (294 mg/L) e Mossoró (475 mg/L), respectivamente. As maiores concentrações ocorreram na ETE Caiçara, com média de 747 mg/L de DBO e 909 mg/L de DQO. As médias para os nove sistemas foram de 553 mg/L e 714 mg/L, respectivamente para DBO e DQO. A relação DBO/DQO média foi 0,77, é característica de esgoto doméstico, predominantemente orgânico, onde as bacias contribuintes estão muito próximas das estações de tratamento. Os resultados referentes ao afluente a ETE de Touros não foram considerados nas estimativas das concentrações médias, pois o mesmo não se tratava de esgoto bruto, mas sim de efluente de tanque séptico, localizado antes da estação elevatória e, que só foi informado pelos operadores no final de todas as coletas.

É importante destacar a grande diferença de valores de DBO e DQO apresentados nas tabelas 2 e 4. Os resultados contidos na Tabela 2 são provenientes de todas as ETE monitoradas pela Companhia de Águas e Esgotos do Estado, mas com poucos resultados por sistema. Por outro lado, os resultados destacados na Tabela 4 são de sistemas previamente selecionados, todos com a mesma configuração e características operacionais, e criteriosamente monitorados dentro de um projeto de pesquisa próprio.

Tabela 4. Médias das variáveis analisadas no esgoto bruto afluente dos 10 sistemas monitorados ao longo do projeto.

Variáveis	ESTAÇÕES MONITORADAS					
	Caiçara	Macau	Mossoró	Pedro Velho	Pipa	
pH	7,1	7,3	7,2	7	6,8	
T (°C)	30,1	30,5	31,2	29	29,5	
DBO (mg/l)	747	587	335	674	444	
DQO (mg/l)	909	792	475	804	732	
CT (UFC/100 ml)	$1,55 \times 10^7$	$5,00 \times 10^7$	$1,20 \times 10^6$	$2,40 \times 10^7$	$3,00 \times 10^7$	
EF (UFC/100 ml)	$7,60 \times 10^6$	$9,50 \times 10^6$	$3,93 \times 10^5$	$5,65 \times 10^6$	$4,54 \times 10^6$	
FT (mg/l)	8	7,7	6,2	4,5	6,8	
OS (mg/l)	5,5	6,5	5,7	4,1	6,1	
NH ₃ (mg/l)	49,2	57,6	38,9	36,4	41,4	
N-Org (mg/l)	55,3	19,3	28,4	34,9	36,4	
ST (mg/l)	1033	1997	839	933	678	
STV (mg/l)	607	770	247	554	327	
SST (mg/l)	334	326	99	319	127	
SSV (mg/l)	283	261	66	269	100	

Variáveis	ESTAÇÕES MONITORADAS					MÉDIA
	Ponta Negra	Santana do Seridó	Santo Antônio	São Gonçalo	Touros	
pH	7,4	7,1	7,5	7	7,1	7,2
T (°C)	29	30,2	28,6	30,5	29,5	29,8
DBO (mg/l)	294	690	609	604	293	553,8
DQO (mg/l)	520	725	777	690	402	713,8
CT (UFC/100 ml)	$2,20 \times 10^7$	$2,90 \times 10^7$	$1,50 \times 10^7$	$5,00 \times 10^7$	$1,60 \times 10^7$	1,9E+07
EF (UFC/100 ml)	$5,85 \times 10^6$	$3,25 \times 10^6$	$3,54 \times 10^6$	$8,00 \times 10^6$	$2,17 \times 10^6$	4,2E+06
FT (mg/l)	5,7	6,6	6	6,1	4,9	6,4
OS (mg/l)	4,2	4,7	4,9	3,9	4,8	5,1
NH ₃ (mg/l)	34,7	41,9	51,5	41,1	33,8	43,6
N-Org (mg/l)	25,6	17,1	25	52,5	14,9	32,7
ST (mg/l)	683	1074	1125	1097	618	1051,0
STV (mg/l)	324	521	650	576	292	508,4
SST (mg/l)	196	244	269	339	110	250,3
SSV (mg/l)	120	177	220	291	81	198,6

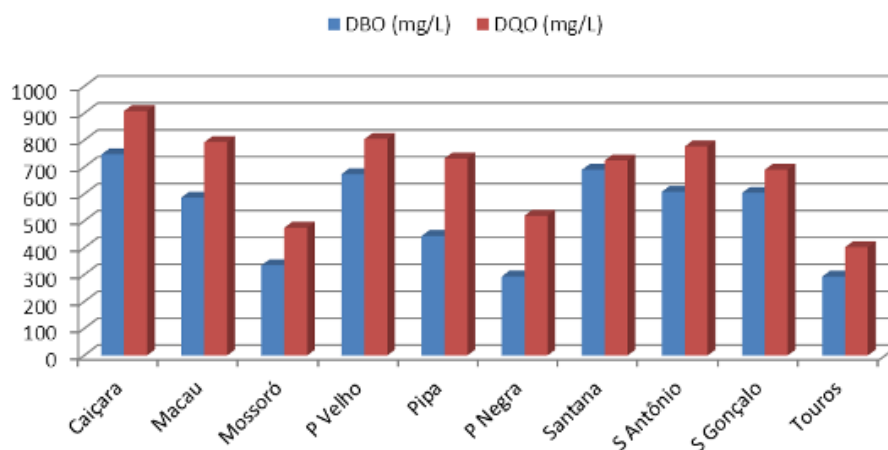


Figura 6. Médias de DBO e DQO nos 10 sistemas avaliados.

A Figura 7 apresenta o resultado gráfico da análise de variância seguido do teste de Tukey ($p = 0,05$) para a comparação entre as médias de DBO e DQO dos 10 sistemas avaliados. Analisando a figura com relação a DBO é possível destacar dois principais grupos de estações: aqueles que apresentaram médias inferiores a 500 mg/L (Mossoró, Pipa; Ponta Negra; Touros) e os demais com médias superiores a 500 mg/L.

Com relação a DQO também é possível destacar duas faixas de valores. Novamente as ETE de Mossoró, Ponta Negra e Touros representam o grupo com médias inferiores a 600 mg/L, enquanto que nos demais sistemas as médias foram sempre superiores a 600 mg/L. É importante comentar que as duas ETE com as menores concentrações médias de DBO e DQO estão justamente localizadas nas duas maiores cidades do estado, Natal (ETE Ponta Negra) e Mossoró (ETE Passagem de Pedras), que possuem em relação as demais, uma maior disponibilidade de água potável e maior consumo per-capita.

Embora na ETE de Touros também tenham sido observados valores sempre nas faixas inferiores de variação de DBO e DQO, tal comportamento deve-se ao fato da existência do tanque séptico antes da série de lagoas. Contrariando o apresentado na Tabela 3, tais resultados indicam que o pré-tratamento anaeróbio pode, quando bem mantido e operado, reduzir significativamente as cargas orgânicas afluentes aos sistemas de lagoas, contribuindo para o aumento da eficiência de tratamento.

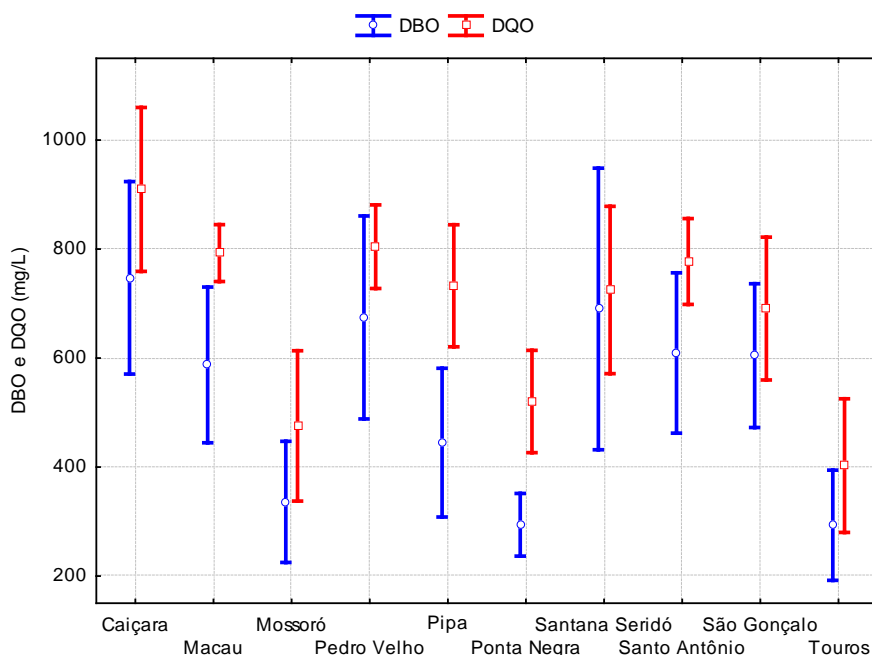


Figura 7. Limite de confiança de 95% para comparação entre as médias de DBO e DQO dos esgotos brutos afluentes dos 10 sistemas avaliados (OBS: Barras que não fazem intercessão entre si denotam médias estatisticamente desiguais ao nível de 0,05).

As Figuras 8 e 9 apresentam as médias de sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos e sólidos suspensos voláteis. A média de sólidos totais variou de 618 mg/L (Touros) a 1997 mg/L (Macau) enquanto que a menor média de sólidos suspensos ocorreu na ETE em Mossoró (99 mg/L) e a maior em São Gonçalo (339 mg/L). As frações voláteis variaram na faixa de 29% (Mossoró) a 59% (Caiçara) para os sólidos totais e de 61% (Ponta Negra) a 86% (São Gonçalo). A Figura 10 apresenta a comparação entre as médias de sólidos totais e suspensos nos 10 sistemas avaliados.

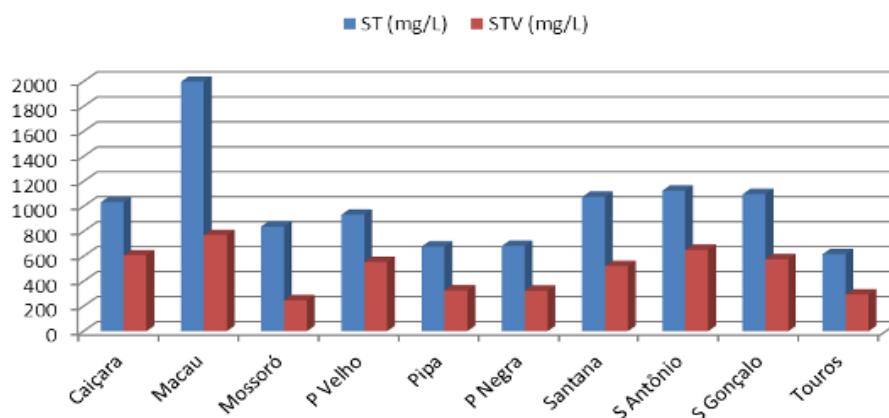


Figura 8. Médias de sólidos totais (ST) e sólidos totais voláteis (STV) nos 10 sistemas avaliados.

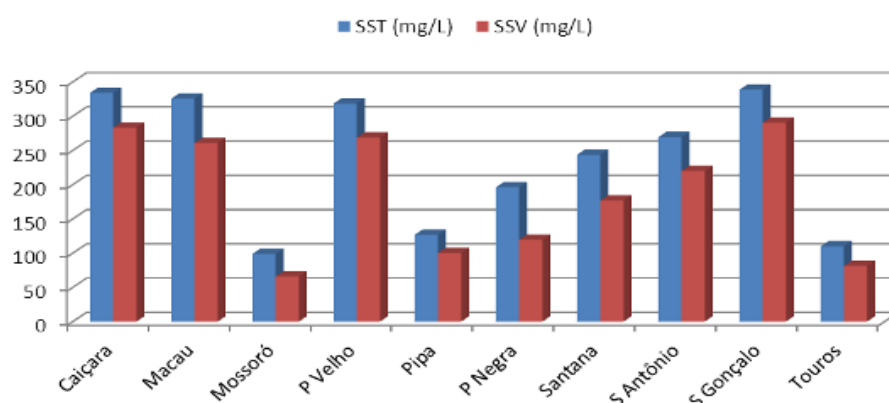


Figura 9. Médias de sólidos suspensos (SS) e sólidos suspensos voláteis (SSV) nos 10 sistemas avaliados.

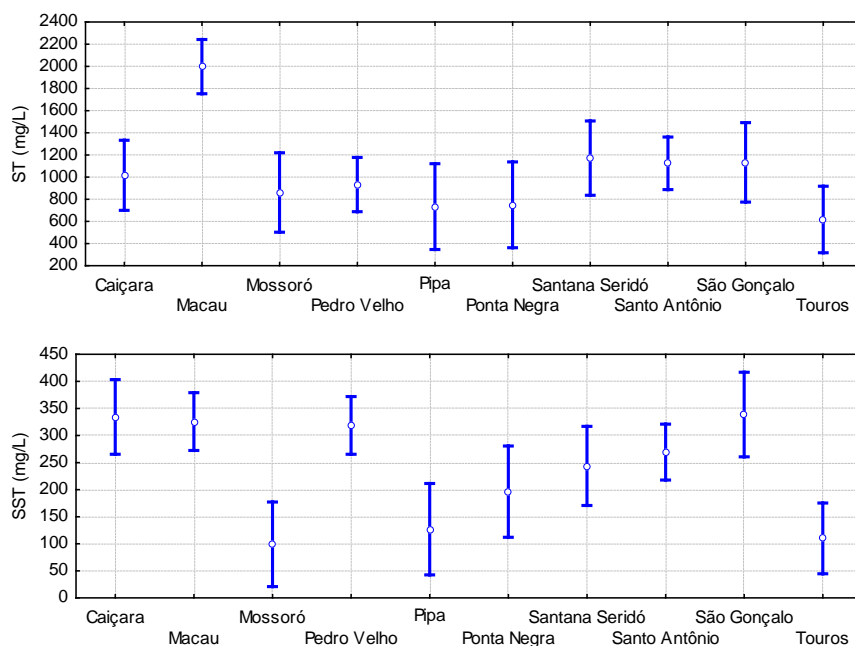


Figura 10. Limite de confiança de 95% para comparação entre as médias de sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais para os esgotos brutos afluentes dos 10 sistemas avaliados (OBS: Barras que não fazem interseção entre si denotam médias estatisticamente desiguais ao nível de 0,05).

Pela Figura 10 é possível observar que somente a ETE em Macau (1997 mg/L) apresentou concentração de sólidos totais significativamente diferente das demais ($p < 0,05$). Tal fato está associado a grande parcela de sólidos dissolvidos, pois Macau é uma cidade com pouca elevação em relação ao nível do mar, cercada por salinas, e com lençol freático muito elevado, favorecendo a infiltração de águas de elevada salinidade, na rede coletora de esgotos.

Embora as médias tenham sido significativamente idênticas, com relação aos sólidos totais foi possível diferenciar a tendência de duas faixas principais de variação: 600 a 900 mg/L (Mossoró; Pipa; Ponta Negra e Touros), 900 a 1200 mg/L (Caiçara; Pedro Velho; Santana; Santo Antônio e São Gonçalo). Macau não foi considerada devida sua característica particular já comentada anteriormente.

As médias de sólidos suspensos apresentaram maiores diferenças entre si sendo possível agrupá-las também em dois grupos principais. As ETE de Caiçara, Macau, Pedro Velho e São Gonçalo apresentaram concentrações médias acima de 300 mg/L, sendo significativamente diferentes das médias verificadas nas ETE Mossoró, Pipa, Ponta Negra e Touros, com valores inferiores a 200 mg/L. Um terceiro grupo pode ser formado com as ETE de Santo Antônio e São Gonçalo com médias entre 200 a 300 mg/L. Esse grupo, dependendo das outras ETE com que seja feita a comparação, pode apresentar médias significativamente diferentes as das outras duas faixas.

A Figura 11 destaca as concentrações medianas de coliformes termotolerantes e *Enterococcus* sp. Os valores medianos de coliformes variaram entre $1,20 \times 10^6$ UFC/100 ml (Mossoró) a $5,00 \times 10^7$ (Macau e São Gonçalo) enquanto de os *Enterococcus* sp. variaram entre $3,93 \times 10^5$ (Mossoró) a $9,50 \times 10^6$ (Macau). A Figura 12 apresenta a comparação entre as concentrações de coliformes e *Enterococcus* sp. após transformação logarítmica dos dados. Diferenças significativas foram observadas entre as médias dos dados transformados de coliformes entre os sistemas que apresentaram valores de log de CT acima de 7,5 (Macau, Pedro Velho e São Gonçalo), e os sistemas de Mossoró e Santo Antônio, com valores inferiores a 7. As ETE com valores nesta faixa de variação logarítmica (7 a 7,5) formam um grupo com característica semelhante em termos de concentração de coliformes.

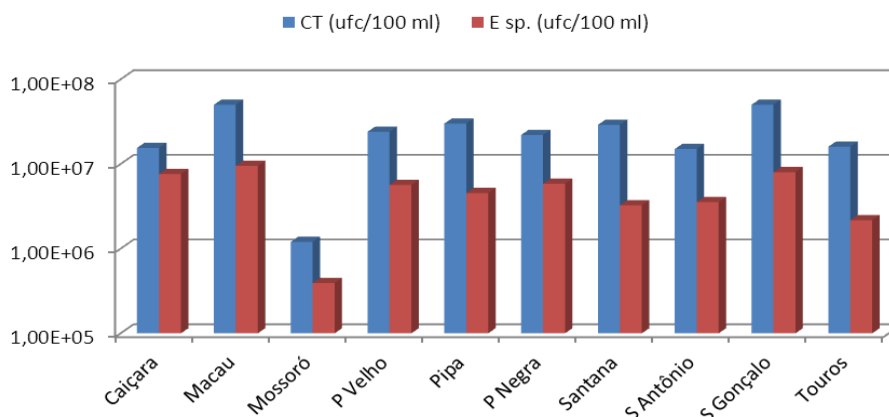


Figura 11. Medianas de coliformes termotolerantes (CT) e *Enterococcus* sp. (E sp.) nos 10 sistemas avaliados.

Com relação aos *Enterococcus* sp. foi verificado que a média de Mossoró também foi significativamente inferior as demais. Além disso, as concentrações de Santana do Seridó, Santo Antônio e Touros são significativamente diferentes da verificada em Macau. Esgotos brutos com os log das concentrações próximos de 6,5 definem um grande grupo com 7 ETE com médias significativamente idênticas.

As médias de fósforo total variaram entre 4,5 mg/L (Pedro Velho) a 8,0 mg/L (Caiçara) enquanto que o ortofosfato solúvel variou entre 3,9 mg/L (São Gonçalo) a 6,5 mg/L (Macau) (Figura 13). Dessa forma, o ortofosfato foi a forma de fósforo predominante nos sistemas representando de 64% (São Gonçalo) a 98% (Touros) do fósforo total.

Com relação às comparações entre as médias de fósforo total e ortofosfato solúvel (Figura 14) foi constatado que para o fósforo total as concentrações de Touros e Pedro Velho são significativamente inferiores que as observadas em Caiçara e Macau ($p < 0,05$). Para ortofosfato a concentração em Macau foi significativamente superior àquelas encontradas em Pedro Velho, Ponta Negra e São Gonçalo ($p < 0,05$).

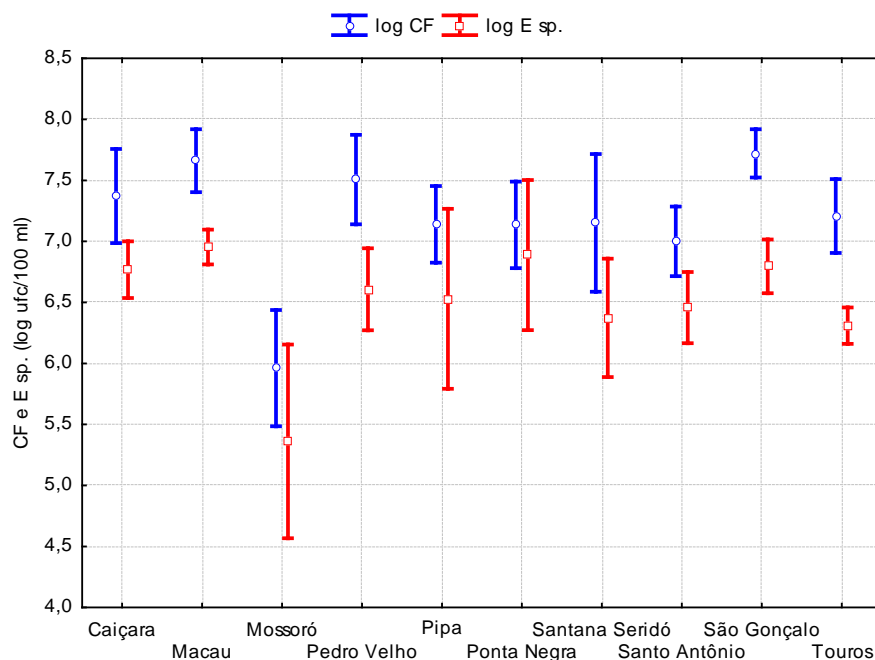


Figura 12. Limite de confiança de 95% para comparação entre as médias logarítmicas de coliformes termotolerantes (CT) e *Enterococcus* sp. (E sp.) dos esgotos brutos afluentes dos 10 sistemas avaliados (OBS: Barras que não fazem intercessão entre si denotam médias estatisticamente desiguais ao nível de 0,05).

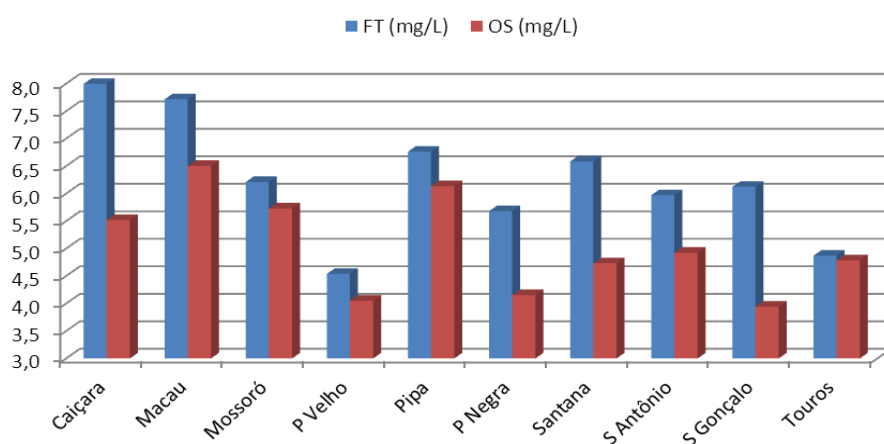


Figura 13. Médias de fósforo total (FT) e ortofosfato solúvel (OS) nos 10 sistemas avaliados.

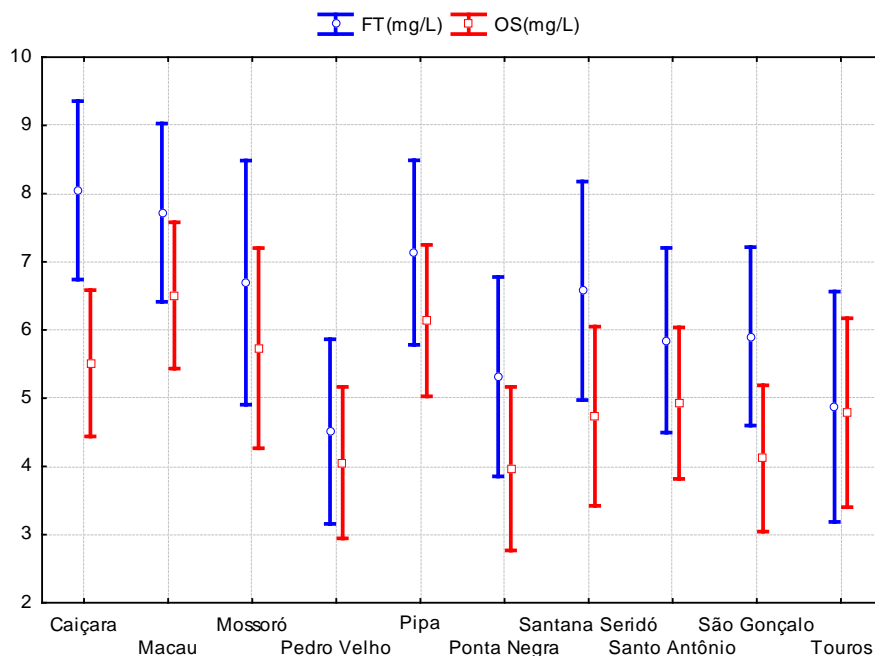


Figura 14. Limite de confiança de 95% para comparação entre as médias de fósforo total (FT) e ortofosfato solúvel (OS) dos esgotos brutos afluentes dos 10 sistemas avaliados (OBS: Barras que não fazem intercessão entre si denotam médias estatisticamente desiguais ao nível de 0,05).

A maior concentração média de amônia (57,6 mg/l) ocorreu em Macau enquanto que a menor foi verificada em Ponta Negra (34,7 mg/l) (Figura 15). Para o nitrogênio orgânico os valores médios mínimos e máximos foram de 17,1 mg/l (Santana da Seridó) e 55,3 mg/l (Caiçara). A Figura 16, que compara as médias de nitrogênio, indica que para amônia, Macau tem média significativamente superior as verificadas em Ponta Negra e Pedro Velho. Para Nitrogênio orgânico, Caiçara e São Gonçalo são significativamente superiores as observadas em Macau, Santana do Seridó e Touros.

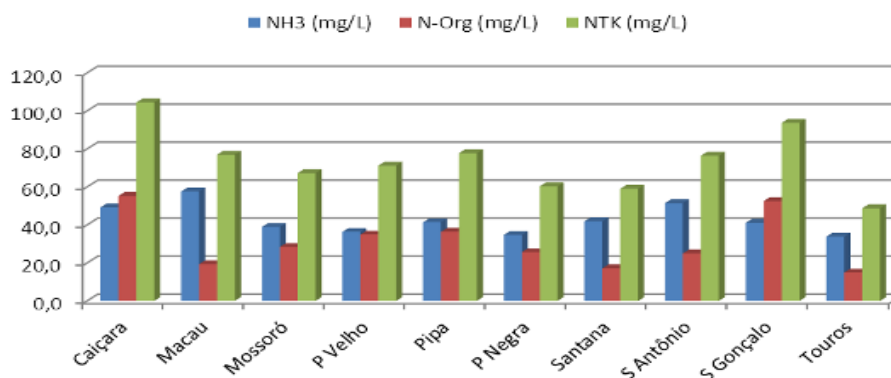


Figura 15. Médias de amônia (NH₃), nitrogênio orgânico (N-Org) e NTK nos 10 sistemas avaliados.

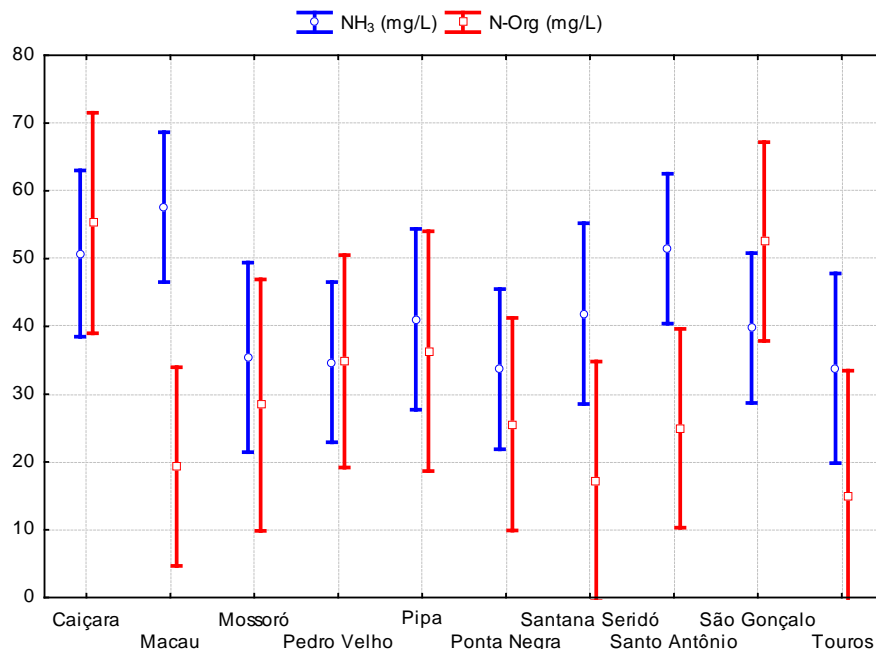


Figura 16. Limite de confiança de 95% para comparação entre as médias de amônia (NH₃) e nitrogênio orgânico (N-Org) dos efluentes brutos afluentes dos 10 sistemas avaliados (OBS: Barras que não fazem interseção entre si denotam médias estatisticamente desiguais ao nível de 0,05).

CONCLUSÕES

Cerca de 50% dos sistemas de lagoas de estabilização no Estado do RN apresentam a unidade preliminar de tratamento (grade e caixa de areia) e nestes a frequência de limpeza predominante é a semanal, contudo 17% de todos os sistemas tem frequência de limpeza de meses ou eventual. Os sistemas sem esta unidade estão com problemas de assoreamento e com vegetação dentro das lagoas. Em 29 ETE não é realizada atividade operacional, e quando existe um operador, as atividades não são realizadas adequadamente, o que contribui para a ineficiência dos sistemas.

Com base nos dados da CAERN (2008 e 2009) as concentrações de DBO₅ no esgoto bruto do RN foram correspondentes a média de 345 mg/L, a DQO foi superior ao mencionado na literatura, com valor médio de 1159 mg/L. Destaca-se que em muitos boletins de análises só se tem um dos resultados, ou DBO ou DQO, mascarando, de certa maneira as concentrações médias obtidas. Com relação aos microorganismos, a concentração média foi de $5,25 \times 10^8$ ufc/100ml. Levando-se em consideração a eficiência de tratamento nos sistemas, constata-se que para DBO₅ o valor foi de 55%, para DQO foi de 58%, e para coliformes termotolerantes de 99,1%. Dessa forma, observam-se eficiências abaixo do esperado, certamente associadas à má operação e manutenção, sendo necessário o estabelecimento de um maior controle operacional dos sistemas. Deve ser considerado também o fato de que alguns sistemas já estão com o seu período de projeto vencido a as ampliações previstas nos mesmos não foram realizadas, causando altas cargas orgânicas.

Com base no monitoramento de 10 sistemas de lagoas de estabilização em diferentes municípios do estado, o esgoto bruto apresentou as seguintes características: A DBO variou na faixa de 294 mg/L a 747 mg/L enquanto a DQO variou entre 475 mg/L a 909 mg/L, com médias de 554 mg/L e 714 mg/L, respectivamente. A relação DBO/DQO média (0,77) indica elevado percentual de matéria orgânica biodegradável, característica de esgoto doméstico muito novo, devido às proximidades entre as bacias contribuintes e as ETE. Foram definidos dois grupos com diferentes limites de variação de DBO e DQO. Para DBO um grupo apresentou médias inferiores a 500 mg/L e outro médias superiores a 500 mg/L, enquanto para DQO o limite foi de 600 mg/L (um grupo com médias inferiores e outro com médias superiores). As ETE que atendem a cidades maior porte e tem melhor operação foram as que apresentaram efluentes brutos afluentes com menores concentrações. As concentrações de coliformes termotolerantes ($1,2 \times 10^6$ a $5,0 \times 10^7$ ufc/100 ml) e fósforo (4,5 a 8,0 mg/L de fósforo total) variaram na faixa comumente observada para efluentes brutos; a amônia variou entre 34,7 mg/L a

57,6 mg/L com média estadual de 43,6 mg/L. A média de nitrogênio orgânico no esgoto bruto foi de 32,7 mg/L.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Nacional de Saúde (FUNASA-BRASIL) pelo financiamento do projeto de pesquisa, o qual este trabalho está incluso (convênio nº 1237/07).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20ed. Washington DC.
2. BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Investimentos federais em saneamento**: relatório de aplicações entre 01 de janeiro de 2003 e 30 de setembro de 2006. Brasília, 2006.
3. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico. 2000. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> > . Acesso em: 20 dez.2006.
4. PIRES, A. D. M. **O uso do geoprocessamento aplicado à gestão de sistemas de lagoas de estabilização no Rio Grande do Norte**. Monografia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. 2010.
5. SILVA FILHO. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização no estado do Rio Grande do Norte**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Eng. Sanitária. UFRN. Natal-RN. 2007.
6. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2005.