

II-013 - APLICAÇÃO DE BALANÇO DE MASSA NO GERENCIAMENTO INTEGRADO DE BACIAS DE ESGOTAMENTO

Alessandra Cardoso Souza Minelli⁽¹⁾

Engenheira química formada pela Faculdade Oswaldo Cruz e engenheira da Divisão de Operação da ETE ABC do Departamento de Tratamento de Esgotos da Unidade de Tratamento de Esgotos da Metropolitana da Sabesp.

Endereço⁽¹⁾: Av. Almirante Delamare, 3000 - Cidade Nova Heliópolis - São Paulo - SP - CEP: 04230-040 - Brasil - Tel: +55 (11) 2020-2421- e-mail: aleminelli@sabesp.com.br

RESUMO

O trabalho apresenta os benefícios obtidos com a prática da utilização de balanço de massa para controle e gestão de estações de tratamento de esgoto, assim como das bacias de esgotamento da estação. Com a utilização do balanço de massa é possível identificar os pontos críticos da estação e realizar a gestão integrada do sistema de esgotamento, e assim efetuar intervenções, melhorias e planejamento de médio e longo prazo em estações de tratamento de esgoto.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço de massa, DQO, cargas de cloreto, produção de lodo, ETEs.

INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgotos (ETEs) são unidades operacionais do sistema de esgotamento sanitário da RMSP, que por meio de processos físicos e biológicos removem as cargas poluentes do esgoto, devolvendo ao meio ambiente o produto final em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental (Lei 8468/76-artigo 18, Resolução CONAMA 430).

O conhecimento das características do esgoto a ser tratado (qualitativamente e quantitativamente) é fundamental para obter o controle adequado e possibilitar o gerenciamento das unidades operacionais de uma ETE. Com isto, é possível a melhoria contínua dos processos utilizados tanto no tratamento da fase líquida como também no tratamento da fase sólida. Verifica-se desta maneira a importância da realização de monitoramentos, seja da ETE, seja da bacia de esgotamento.

Todos os dados operacionais obtidos em uma estação de tratamento de esgoto dependem fortemente da qualidade do esgoto afluente. Estes dados são fundamentais para a gestão do sistema de esgotamento sanitário de forma integrada, a fim de atingir a eficiência operacional requerida.

A utilização de balanços de massa vem ao encontro desta diretriz, que visa à melhoria contínua dos processos de tratamento de esgoto, ou seja, 100% da vazão tratada e 100 % de qualidade do efluente final. Este trabalho tem como propósito apresentar a prática da utilização de balanços de massa, realizadas com base em dois parâmetros: com base em DQO, representando a matéria orgânica presente no esgoto e com base em cloreto, representando a salinidade do esgoto.

Para aperfeiçoar uma estação de tratamento de esgoto é exigido o mapeamento do sistema e um entendimento aprofundado dos vários processos, suas diversas etapas do início ao fim. O caráter dinâmico do funcionamento de uma ETE também dificulta a realização de mudanças drásticas de operação quando em situações adversas. Nesse sentido, um programa de monitoramento pode auxiliar para que o processo de tratamento do esgoto atinja seu máximo de eficiência.

A adoção de parâmetros que possibilitem averiguar as características do esgoto encaminhado às ETEs, em pontos estratégicos de monitoramento, pode orientar na escolha de estratégias operacionais mais eficazes. O conhecimento do comportamento da planta possibilita antecipar os parâmetros a serem controlados.

O aprimoramento de forma sistemática na gestão operacional das ETEs da RMSP, por meio do monitoramento em tempo real das bacias de esgotamento, e utilização de balanços de massa com dados reais e modelos matemáticos, tem sido uma importante prática para a gestão integrada do sistema, possibilitando de forma estruturada efetuar o planejamento de médio e longo prazo das ETEs. Também possibilita identificar demandas que são críticas ao processo de tratamento, e que justificam tecnicamente o aporte de recursos financeiros para manutenção do sistema, como também servem de base para renegociação com clientes internos e externos.

OBJETIVO

Este trabalho tem como propósito apresentar a prática da utilização de balanços de massa para o acompanhamento, controle e gestão operacional de estações de tratamento de esgoto, como também da bacia de esgotamento afluente à estação. A ferramenta de balanço de massa foi realizada com base em dois parâmetros: com base em DQO (Demanda Química de Oxigênio) representando a matéria orgânica presente nos esgotos, e com base em Cloreto, representando a salinidade presente nos esgotos, diretamente relacionada com o parâmetro de condutividade elétrica.

METODOLOGIA UTILIZADA

Balanço de Massa - Base DQO

Para obtenção do balanço de massa com base em DQO, foi elaborado um modelo matemático utilizando a linguagem Microsoft Excel-Visual Basic, onde foram inseridas as equações da cinética de lodos ativados convencionais, cujas equações foram extraídas de literatura e consolidadas mundialmente.

Nesta planilha, que funciona como um simulador de processo é possível variar dados operacionais, como por exemplo, aumento de vazão, alteração da concentração de DQO afluente, alteração da idade do lodo e com isto fazer projeções de produção de lodo, produção de biogás, entre outros. Desta maneira verificam-se as eficiências dos processos envolvidos (previsto e obtido), bem como a identificação dos pontos críticos da unidade (equipamentos, unidades operacionais) que necessitam de intervenção e/ou melhoria.

Na Figura 1 abaixo é apresentada uma simulação de balanço de massa com base no parâmetro DQO.

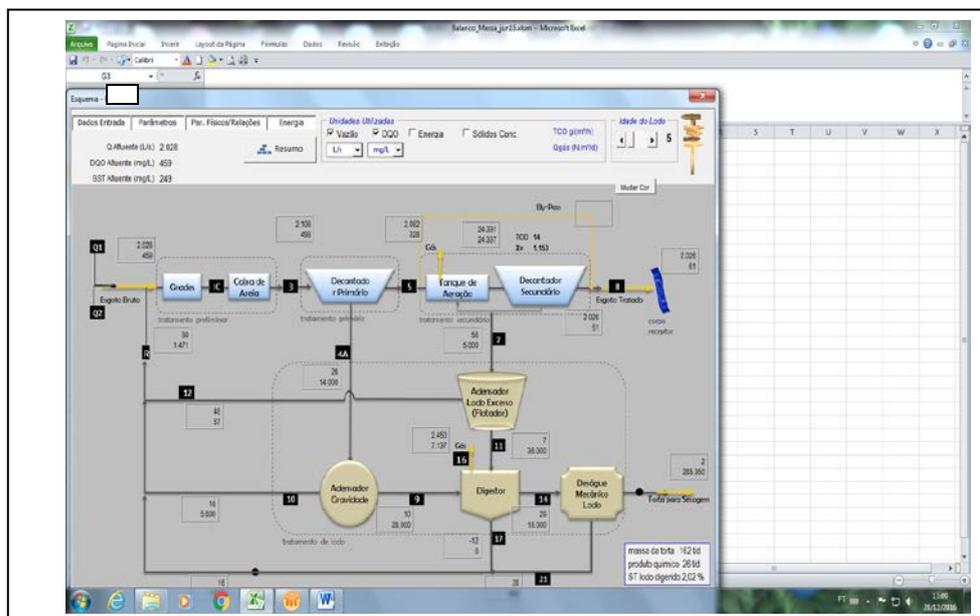


Figura 1: Fluxo das cargas orgânicas dentro da ETE.

Balanço de Massa - Base Cloreto

O Balanço de massa com base no parâmetro Cloreto surgiu como uma necessidade de mapear a carga salina presente na bacia de esgotamento, a fim de identificar a fonte produtora de efluente não doméstico, que impactava no parâmetro condutividade elétrica do efluente da estação de tratamento de esgotos. A estação de tratamento de esgoto fornece efluente tratado ao cliente externo, que por sua vez, efetua um tratamento complementar e fornece água de reúso industrial para um polo petroquímico. Há um limite contratual para fornecimento do efluente ao cliente externo no parâmetro condutividade elétrica, expresso em micros Siemens/cm, sendo este parâmetro diretamente relacionado ao parâmetro cloreto, expresso em miligramas/L.

Para obtenção deste balanço foi seguida a seguinte metodologia: foram mapeados os pontos mais relevantes do sistema de esgotamento sanitário, que poderiam representar uma contribuição significativa de carga salina à ETE. Nestes pontos foram realizadas diversas coletas de amostras, com frequência pré-estabelecida, para obtenção de dados laboratoriais. Em paralelo, foram instalados analisadores on-line para medição em campo, de vazão e condutividade elétrica nos pontos definidos anteriormente. Com a obtenção das leituras, foi implantado um sistema de monitoramento on line destes dados, por meio de um sistema de telemedição, onde é possível visualizar em tempo real a condutividade nos diversos pontos da bacia de esgotamento. Periodicamente, os dados são compilados e assim, obtidas as respectivas cargas de cloreto referente a cada ponto da bacia. Na Figura 2 é apresentada a planilha de registro dos dados, e na Figura 3 é apresentado o resumo das cargas de cloreto.

Pontos de Controle	Caixa de areia (01C)								EE Ribeirão Pires							
	Vazão afluente (L/s)	Condutividade (µs/cm)	Cloreto		SDT			Fórmula	Vazão afluente (L/s)	Condutividade (µs/cm)	Cloreto		SDT			
			Fator	Concentração (mg/L)	Carga (Ton/d)	Fator	Concentração (mg/L)				Carga (Ton/d)	Fator	Concentração (mg/L)	Carga (Ton/d)		
Médiamês anterior	2108,6	769	0,12	93,3	16,9	0,52	425,0	77,0	163,8	2717	0,24	524,5	7,4	0,48	1202,8	16,9
Fonte	\\spos-ete abc_dados brutos	\\spos-ete abc_dados brutos	Fórmula quando aplicável*	Fórmula quando aplicável*	Fórmula	Fórmula quando aplicável*	Fórmula quando aplicável**	Fórmula	\\spos-ete abc_dados brutos	\\spos-ete abc_dados brutos	Fórmula quando aplicável*	Fórmula quando aplicável**	Fórmula	Fórmula quando aplicável*	Fórmula quando aplicável**	Fórmula
01/10/2015	2234,0	769	-	88,8	17,1	-	398,2	76,9	144,1	1893	-	448,4	5,6	-	915,8	11,4
02/10/2015	2204,0	769	-	88,8	16,9	-	398,2	75,8	163,8	2425	-	574,2	8,1	-	1172,8	16,6
03/10/2015	2618,0	701	-	81,0	18,3	-	363,1	82,1	212,9	2147	-	508,5	9,4	-	1038,6	19,1
04/10/2015	2133,0	783	-	90,5	16,7	-	405,4	74,7	163,3	2329	-	551,6	7,8	-	1126,5	15,9
05/10/2015	2279,0	832	-	96,2	18,9	-	430,9	84,9	215,0	2708	-	641,4	11,9	-	1309,8	24,3
06/10/2015	2288,0	838	0,11	92,7	18,3	0,50	420,0	83,0	153,3	1865	-	441,8	5,9	-	902,3	11,9
07/10/2015	2333,0	828	-	95,6	19,3	-	428,6	86,4	158,4	2356	-	558,1	7,6	-	1139,7	15,6
08/10/2015	2323,0	819	-	94,6	19,0	-	424,1	85,1	153,0	2134	-	505,4	6,7	-	1032,2	13,6
09/10/2015	2093,0	836	-	96,6	17,5	-	433,0	78,3	130,6	2114	-	500,7	5,6	-	1022,6	11,5
10/10/2015	2167,0	813	-	93,9	17,6	-	420,8	78,8	132,4	1917	-	454,0	5,2	-	927,1	10,6
11/10/2015	1967,0	815	-	94,1	16,0	-	421,7	71,7	123,4	2036	-	482,2	5,1	-	984,8	10,5
12/10/2015	2165,0	825	-	95,4	17,8	-	427,4	79,9	125,5	1973	-	467,3	5,1	-	954,5	10,4
13/10/2015	2364,0	887	0,10	86,5	17,7	0,47	413,0	84,4	145,2	1753	-	415,1	5,2	-	847,9	10,6
14/10/2015	1945,0	920	-	106,3	17,9	-	476,4	80,1	130,4	2034	-	481,7	5,4	-	983,8	11,1
15/10/2015	2008,0	936	-	108,1	18,8	-	484,6	84,1	124,6	1485	-	351,6	3,8	-	718,1	7,7
16/10/2015	1951,0	969	-	111,9	18,9	-	501,7	84,6	144,3	1573	-	372,6	4,6	-	761,1	9,5
17/10/2015	1877,0	973	-	112,4	18,2	-	503,6	81,7	149,6	1054	-	249,7	3,2	-	510,0	6,6
18/10/2015	1874,0	916	-	105,8	17,1	-	474,0	76,8	165,9	1142	-	270,5	3,9	-	552,5	7,9
19/10/2015	1994,0	941	-	108,7	18,7	-	487,3	84,0	136,9	1265	-	299,7	3,5	-	612,0	7,2
20/10/2015	2069,0	861	0,11	93,7	16,8	0,51	442,0	79,0	140,0	1631	0,18	295,5	3,6	0,47	761,0	9,2
21/10/2015	2055,0	816	-	94,3	16,7	-	422,7	75,0	128,0	2099	-	497,2	5,5	-	1015,4	11,2
22/10/2015	2060,0	584	-	67,5	12,0	-	302,3	53,8	220,3	2576	-	610,0	11,6	-	1245,8	23,7
23/10/2015	2108,6	721	-	83,3	15,2	-	373,4	68,0	136,7	3131	-	741,6	8,8	-	1514,5	17,9
24/10/2015	2108,6	798	-	92,2	16,8	-	413,1	75,3	135,8	2911	-	689,4	8,1	-	1407,9	16,5
25/10/2015	2108,6	784	-	90,6	16,5	-	405,9	73,9	119,2	2858	-	677,0	7,0	-	1382,6	14,2
26/10/2015	2108,6	508	-	58,7	10,7	-	263,3	48,0	190,7	3095	-	733,1	12,1	-	1497,2	24,7
27/10/2015	2108,6	609	0,12	72,8	13,3	0,59	360,0	65,6	122,7	2966	-	702,4	7,4	-	1434,5	15,2
28/10/2015	2255,0	767	-	88,7	17,3	-	397,4	77,4	121,1	1934	-	457,9	4,8	-	935,3	9,8
29/10/2015	2172,0	797	-	92,1	17,3	-	412,8	77,5	139,6	1727	-	409,1	4,9	-	835,5	10,1
30/10/2015	2117,0	809	-	93,5	17,1	-	419,0	76,6	133,1	1940	-	459,5	5,3	-	938,4	10,8
31/10/2015	1691,0	729	-	84,2	12,3	-	377,6	55,2	112,9	1695	-	401,4	3,9	-	819,7	8,0
Média	2121,9	805	0,11	92,2	16,9	0,52	416,2	76,1	147,5	2089	0,18	491,9	6,3	0,47	1009,7	13,0

Figura 2: Vista parcial da planilha de compilação dos dados brutos.

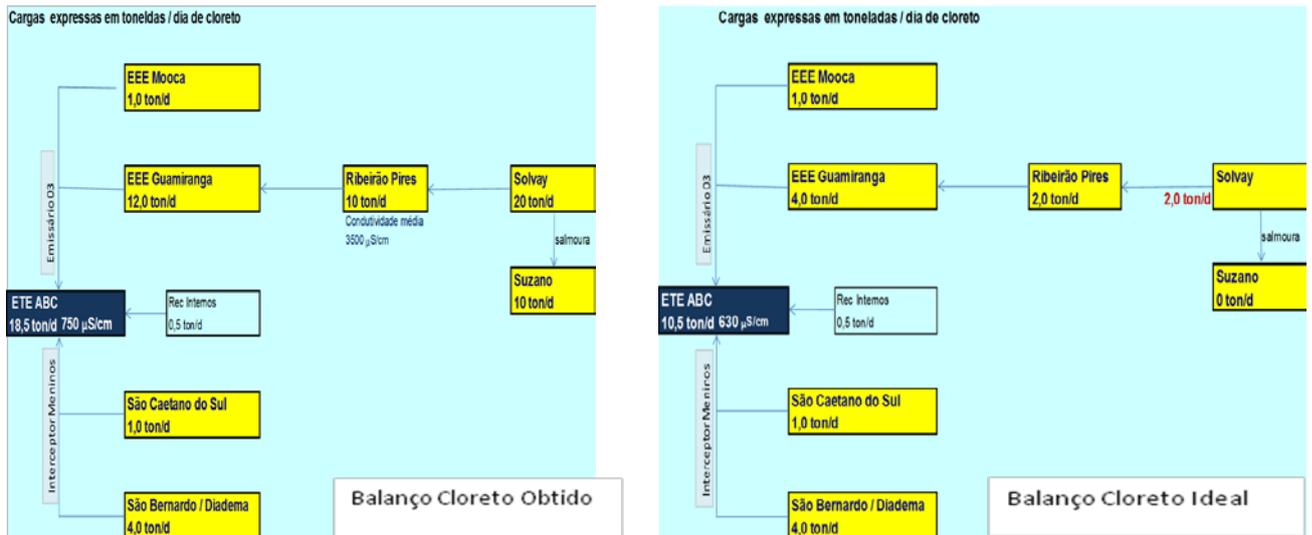


Figura 3: Resumo das cargas de cloreto.

RESULTADOS OBTIDOS

Balanço de massa - Base DQO

Com a prática do balanço de massa em base de DQO, foi possível verificar que a capacidade instalada de desaguamento de lodos era insuficiente para atender a demanda de produção da ETE. Assim foi possível comprovar tecnicamente a necessidade de aporte de recursos financeiros para a instalação de mais um conjunto de desaguamento de lodos, o qual se trata de um investimento de grande porte para a companhia.

A operação adequada com atendimento da demanda do desaguamento e produção de lodos das estações de tratamento de esgoto é de fundamental importância para manter a eficiência operacional, visando o atendimento a legislação vigente como também o atendimento da qualidade do efluente requerida pelo cliente externo.

Verifica-se na Figura 4, o incremento da produção de lodo da estação, com a instalação de um 3º conjunto de desaguamento na estação de tratamento de esgotos a partir de julho de 2015. Outro resultado importante, com a implementação de mais um conjunto de desaguamento de lodos, foi a disponibilidade para realização de manutenções programadas e reforma nos conjuntos já instalados, permitindo-se assim maior estabilidade operacional.

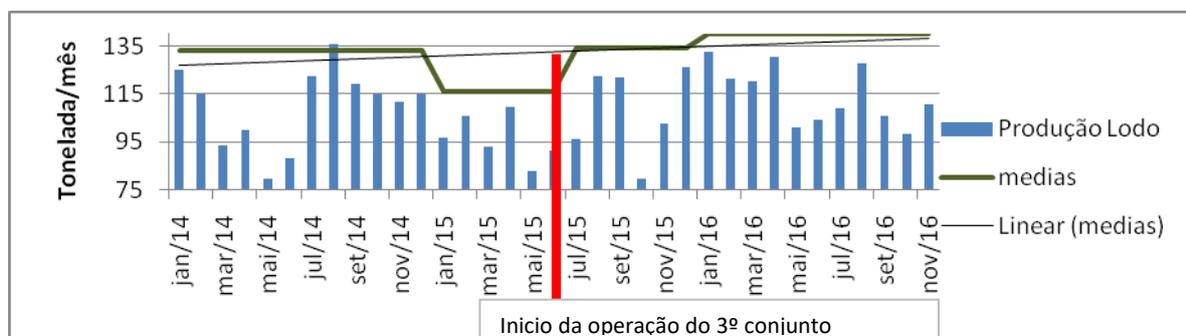


Figura 4: Evolução da produção de lodos da ETE.

A partir do detalhamento da produção de lodo com a utilização da prática de balanço de massa, verificou-se ainda que não haveria disponibilidade para recebimento da produção prevista de todo lodo proveniente das estações de tratamento nos aterros sanitários. A empresa possui um termo de acordo, para dispor o lodo desaguado das ETEs nos aterros da PMSP, que está em vigor desde 1994, em troca do recebimento de chorume.

A partir de abril de 2016, a proporção de lixo / lodo desaguado das ETEs acordada com os aterros passou de 5% para 6,7%. Podemos observar na Figura 5 a evolução da capacidade de disposição final dos resíduos das estações de tratamento de esgoto.



Figura 5: Evolução da capacidade de disposição final das ETEs nos aterros sanitários.

Balanco de Massa - Base Cloreto

Com relação aos resultados obtidos, referente à aplicação do balanço de massa de cargas salinas, tivemos:

Para que o limite de condutividade elétrica do efluente ($650 \mu\text{S}/\text{cm}$) fosse atendido para fornecimento ao cliente externo, conforme estabelecido contratualmente, foi necessário o mapeamento de toda a bacia de esgotamento, contabilizando em diversos pontos, qual a carga proveniente de cloreto. Verificou-se que na estação de tratamento, é possível receber diariamente no máximo 10 toneladas/dia de carga de cloreto, e que com o monitoramento das bacias, foi identificado o recebimento de cargas que variam de 13 a 20 toneladas por dia afluente a estação.

Efetuando o balanço de massa, verificou-se que uma única empresa interligada à rede coletora era responsável por aproximadamente 50% da carga salina encaminhada à ETE e para haver o atendimento da carga de cloreto afluente a estação, esta empresa deveria lançar somente 2 toneladas /dia.

A partir de janeiro de 2016, com base na apresentação dos dados obtidos pelo balanço de cargas salinas, foi efetuado pela área responsável pelas tratativas com o cliente gerador, um novo contrato onde foram limitadas as cargas máximas permitidas de cloreto a serem lançadas na rede coletora afluente à estação de tratamento.

A partir de março de 2016, foi feito um termo de cooperação com outra estação de tratamento de esgoto, e redirecionado o efluente salino da empresa interligada a rede, reduzindo a carga salina afluente à estação. Com isto verificou-se o decréscimo da condutividade elétrica do efluente tratado da estação, e atendimento do limite contratual de fornecimento de efluente tratado ao cliente externo, conforme verificada na Figura 6 apresentada a seguir.

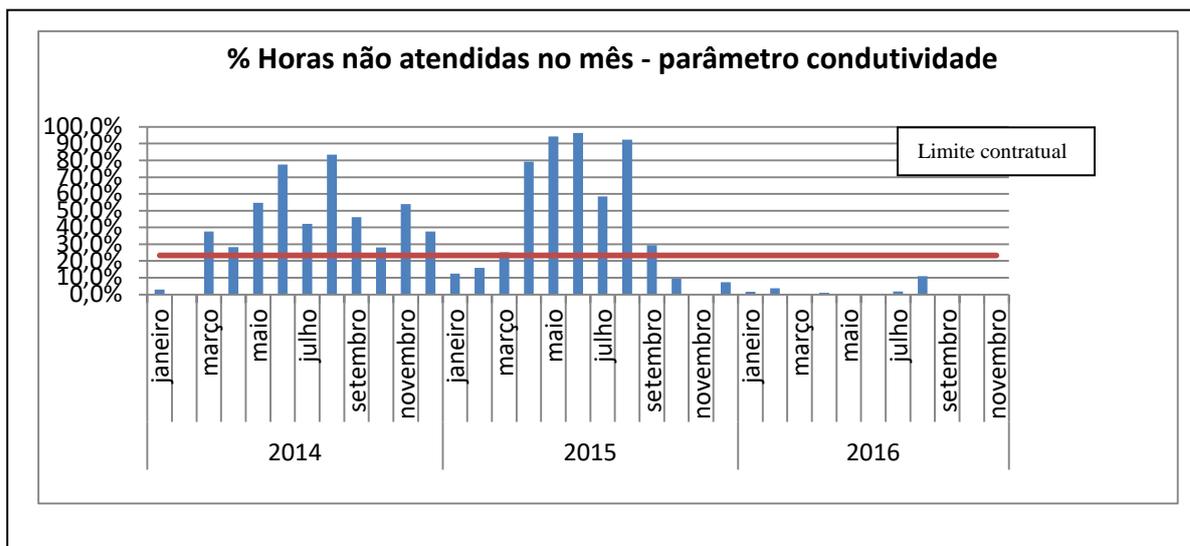


Figura 6: Percentual de atendimento no mês do parâmetro condutividade elétrica do efluente tratado da estação, medido em porcentagem de horas não conformes /mês .

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O balanço de massa realizado com base em DQO e cloreto surgiram como uma ferramenta capaz de prever o impacto quantitativo e qualitativo que a carga afluente infringe à estação. Com a aplicação da prática de balanço de massa foi possível também conhecer o comportamento quali-quantitativo dos esgotos afluentes em cada bacia de esgotamento, possibilitando identificar possíveis alterações na característica do esgoto afluente a ETE, que podem impactar no processo de tratamento e por consequência na qualidade do efluente tratado, no atendimento a legislação vigente, e no contrato de fornecimento de reuso ao cliente externo.

CONCLUSÕES

A prática da gestão operacional baseada em balanço de massa tem obtidos resultados relevantes para estações de tratamento de esgoto, principalmente para o planejamento técnico adequado das unidades operacionais. O aprimoramento de forma sistemática na gestão operacional das ETEs, por meio de monitoramento em tempo real das bacias de esgotamento e a utilização de balanços de massa com dados reais e modelos matemáticos, tem sido uma importante prática para a gestão integrada do sistema, possibilitando de forma estruturada efetuar o planejamento de médio e longo prazo das ETEs. Também possibilita identificar demandas que são críticas ao processo de tratamento, como previsão de insumos (produtos químicos e energia elétrica), previsão de produção de subprodutos (lodo desaguado), transporte de lodo, produção de biogás, e qualidade do esgoto tratado, e que justificam tecnicamente o aporte de recursos financeiros para manutenção do sistema, como também servem de base para renegociação com clientes internos e externos. Assim é possível efetuar a melhoria contínua dos processos utilizados nas estações de tratamento de esgoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VAN HAANDEL, ADRIANUS; MARAIS, GERRIT. O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado – Teoria e Aplicações para Projetos e Operação /1999
2. Revista de Administração Pública - A contabilidade da gestão ambiental e sua dimensão para a transparência empresarial: estudo de caso de quatro empresas brasileiras com atuação global. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122006000600008 Acesso em 09/04/2015
3. NAZARENO, CLAUDIO; BORGES, FABIO FERNANDO. Telemetria do Sistema de Esgotamento Sanitário da CAESB – Monitoramento Remoto de Pequenas Unidades a Baixo Custo – XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES