

## II-112 – INFLUÊNCIA DA ROTINA OPERACIONAL DE DESCARTE DO LODO EXCEDENTE DE REATORES UASB NA QUALIDADE DO EFLUENTE DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

**Lívia Cristina da Silva Lobato<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil. Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Luiza Clemente Cardoso**

Bolsista de iniciação científica. Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Maiara Gonçalves Divino**

Técnica em Saneamento do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira – MG. Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual de Minas Gerais.

**Heleno Silva**

Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira - MG

**Carlos Augusto de Lemos Chernicharo**

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Antônio Carlos, 6627 - UFMG/EE/DESA Bloco 2, sala 4541 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3409-1025 - e-mail: lsilvalobato@yahoo.com.br

### RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar o impacto da implementação da rotina de descarte de lodo excedente em reatores UASB, em escala plena, sobre a melhoria da qualidade do efluente final. Os trabalhos foram desenvolvidos na ETE *Laboreaux* (população equivalente de 70.000 habitantes), localizada na cidade de Itabira – MG – Brasil. A aplicação dos conceitos de massa mínima e de massa máxima nos reatores UASB da ETE *Laboreaux* resultaram em melhoria expressiva da qualidade do efluente dos reatores. No período em que a rotina operacional de descarte do lodo excedente foi implementada, as concentrações médias de SST, DBO e DQO para o efluente dos reatores foram iguais a 114, 38 e 132 mg.L<sup>-1</sup>. Para os parâmetros DBO e DQO, os padrões de lançamento foram alcançados. Em relação ao efluente final da estação (reatores UASB seguido de pós-tratamento por filtro biológico percolador e decantador secundário), os resultados obtidos atendem em todos os períodos operacionais, aos padrões de lançamento para SST, DBO e DQO, iguais a 100, 60 e 180 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, apresentando eficiências de remoção superiores a 80% em todos os períodos.

**PALAVRAS-CHAVE:** rotina operacional, lodo excedente, reatores UASB, filtro prensa

### INTRODUÇÃO

Nos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB), a taxa de acumulação de sólidos depende essencialmente do tipo de afluente sendo tratado, sendo maior quando o esgoto afluente apresenta elevada concentração de sólidos suspensos, especialmente sólidos não biodegradáveis.

Os reatores UASB têm como uma das suas características principais a grande capacidade de retenção de biomassa em condições operacionais adequadas, o que acarreta em idades do lodo superiores aos tempos de detenção hidráulica (TDH). Esse fato é resultado da alta sedimentabilidade do tipo de biomassa que se desenvolve nesse sistema (Leitão *et al.*, 2009). Mesmo apresentando a vantagem de uma grande capacidade de retenção de biomassa, o descarte do lodo excedente dos reatores UASB deve ser realizado periodicamente, caso contrário o seu acúmulo no interior do reator poderá ocasionar a perda excessiva de sólidos para o compartimento de decantação e, conseqüentemente, deteriorar a qualidade do efluente e provocar problemas operacionais nos filtros biológicos percoladores. Desta forma, é necessário determinar a melhor rotina de descarte de lodo, em função do nível de lodo no reator UASB e da concentração de sólidos suspensos no efluente líquido, de modo a evitar a deterioração da sua qualidade.

Os reatores UASB da estação de tratamento de esgoto (ETE *Laboreaux*) da cidade de Itabira/MG, os quais dispõem de tubulações de descarte localizadas a 0,50 e 1,35 m do fundo reator, o que possibilita uma grande flexibilidade operacional no tocante à rotina de descarte de lodo excedente. O descarte a meia altura do compartimento de digestão possibilita a retirada do lodo mais disperso, usualmente com menor atividade e piores condições de sedimentação, no entanto, essa alternativa resulta em maiores volumes de lodo de descarte. Para compensar os maiores volumes de descarte desse lodo menos denso, pode-se fazer o descarte de uma parcela menor de lodo de fundo do reator, já que este se encontra bastante concentrado. A eventual desvantagem em se descartar parte do lodo de fundo, que usualmente apresenta maior atividade e melhores condições de sedimentação, pode ser compensada pelos menores volumes descartados e, conseqüentemente, economia no tempo de funcionamento dos equipamentos de desagüamento (CHERNICHARO, 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da rotina operacional de descarte de lodo excedente de reatores UASB na qualidade do efluente final da estação de tratamento de esgoto da cidade de Itabira-MG (ETE *Laboreaux*).

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Local de realização do trabalho*

A pesquisa foi realizada na ETE *Laboreaux*, no município de Itabira, em Minas Gerais. A operação da primeira etapa de implantação, dimensionada para a população de 70.000 habitantes, iniciou-se em julho de 2008. Está prevista a expansão das unidades (2ª etapa de implantação) para atendimento de uma população de aproximadamente 123.000 habitantes, a ser atingida em 2029.

A ETE *Laboreaux* apresenta fluxograma simplificado, compreendendo unidades de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador), unidades de tratamento biológico anaeróbio e aeróbio em sequência (reator UASB, filtro biológico percolador - FBP e decantador secundário). O lodo dos decantadores secundários é recirculado aos reatores UASB, onde é adensado e estabilizado, seguindo, após o descarte, para a etapa de desidratação, realizada por filtro prensa, e posterior disposição final. A Figura 1 mostra o layout das unidades da ETE *Laboreaux* e a Tabela 1 apresenta as suas principais características.

**Tabela 1:** Principais características da ETE *Laboreaux*

Características	Reatores UASB	Filtros biológicos percoladores (FBP)	Decantadores secundários (DS)
População (hab.)	70.000 (123.000)		
Vazão (L.s <sup>-1</sup> )	170 (313)		
Número de unidades	8 (16)	2 (4)	2 (4)
Tipo	Retangular	Circular	Circular
Dimensões (m)	21,7 × 6,2	D = 22,5	D = 20,0
Área (m <sup>2</sup> )	134,5	397,6	314,0
Profundidade útil (m)	4,5	2,5	3,0
Produção de lodo* (kgSST.d <sup>-1</sup> )	1.409 (2.758)		
Produção de lodo** (m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> )	34,5 (67,69)		

( ) Valores indicados em parênteses referem-se ao fim de plano.

\* Dados de projeto

\*\* Considerando a concentração do lodo igual a 4 %.

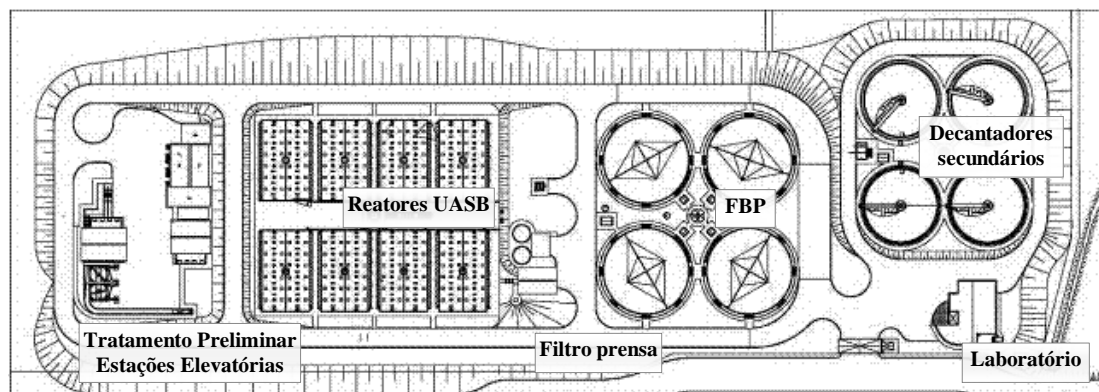


Figura 1: Layout das unidades da ETE Laboreaux.

### Gerenciamento do lodo excedente

A fim de se evitar a perda indesejada de sólidos junto ao efluente final, procurou-se manter a massa de lodo no interior do reator entre um mínimo, correspondente a biomassa suficiente para digerir a carga orgânica afluyente, e um máximo, dependente da capacidade de retenção de sólidos no reator. A massa máxima foi definida pela observação dos resultados de monitoramento do efluente do reator, verificando a partir de qual biomassa observava-se um aumento na concentração de DQO, DBO e sólidos suspensos no efluente. Já a massa mínima foi calculada pela Equação 1 (CHERNICHARO, 2007).

$$M_{\min} = CO_{DQO} / AME \quad (\text{Eq.1})$$

na qual:

$M_{\min}$  = massa mínima (kgSTV)

$CO_{DQO}$  = carga orgânica afluyente ao reator UASB (kgDQO.d<sup>-1</sup>)

$AME$  = atividade metanogênica específica (kgDQO.kgSTV<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>)

Em estações onde se utilizam processos de desidratação mecânica, caso da estação avaliada que utiliza filtro prensa, o descarte de lodo deve ser feito diariamente e a magnitude dos descartes deve corresponder à produção diária de lodo considerando todos os reatores, a qual é calculada pelas Equações 2 e 3.

$$V_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{\gamma \times C_{\text{lodo}}} \quad (\text{Eq.2})$$

$$P_{\text{lodo}} = Y \times CO_{DQO} \quad (\text{Eq. 3})$$

na qual:

$V_{\text{lodo}}$  = volume de lodo a ser descartado (m<sup>3</sup>)

$P_{\text{lodo}}$  = produção de lodo no sistema (kgSST.d<sup>-1</sup>)

$\gamma$  = massa específica do lodo (kg.m<sup>-3</sup>)

$C_{\text{lodo}}$  = concentração do lodo (%).

A rotina operacional considerando o volume de descarte de lodo excedente igual à produção diária de lodo no sistema deve ser adotada apenas quando os reatores encontram-se em situação normal, em relação ao nível de lodo, ou seja, quando a biomassa no reator está abaixo do valor máximo adotado. Em situações de excesso de lodo nos reatores UASB, as operações de descarte e de funcionamento do filtro prensa devem ser intensificadas.

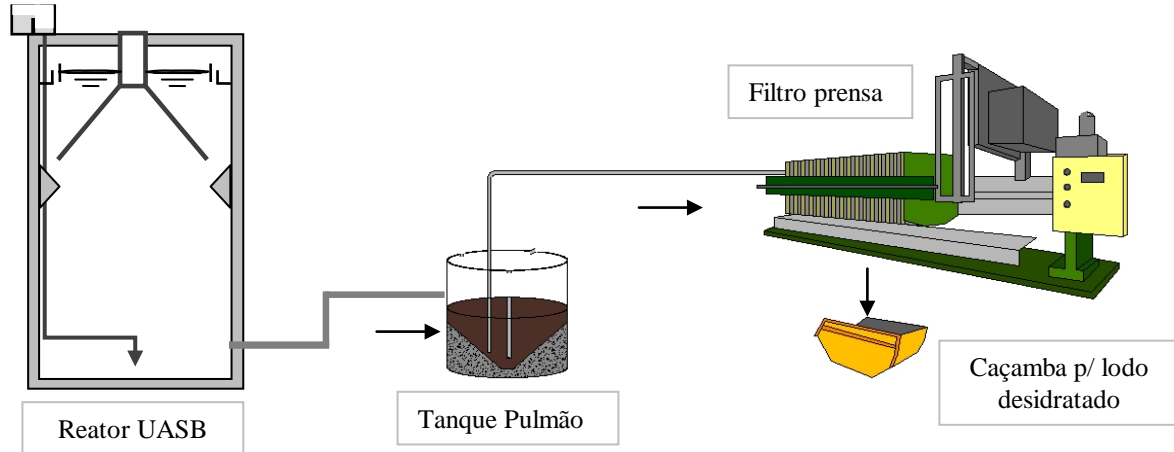
### Dispositivo de descarte

Uma vez definida a massa de lodo a ser descartada (considerando a situação normal ou de excesso de lodo nos reatores UASB), calcula-se o volume de lodo a descartar de cada tubulação, superior e/ou inferior. A operação de descarte é dada pela abertura dos registros localizados na lateral do reator (sete registros inferiores e sete superiores), o que possibilita o escoamento do lodo até o tanque de armazenamento de lodo. O volume a ser descartado em cada registro é controlado pelo tempo de abertura dos mesmos.

O preparo para o processo de desidratação mecânica ocorre em tanques onde o lodo fica armazenado, com posterior adição de produtos químicos, cal e cloreto férrico, objetivando o condicionamento do lodo. Após a

dosagem desses produtos é realizada uma mistura, através da injeção de ar, visando homogeneizar o lodo, o qual é bombeado até o filtro prensa, unidade que efetivamente promove a desidratação mecânica.

A Figura 2 mostra uma representação esquemática do sistema de descarte de lodo excedente e desidratação mecânica e a Figura 3 apresenta as unidades envolvidas nesse sistema.



**Figura 2:** Representação esquemática do sistema de descarte de lodo excedente e desidratação mecânica



**Figura 3:** (a) Tubulações de descarte de lodo na lateral dos reatores UASB; (b) Tanques de armazenamento de lodo; (c) filtro prensa

#### **Protocolo de descarte estabelecido**

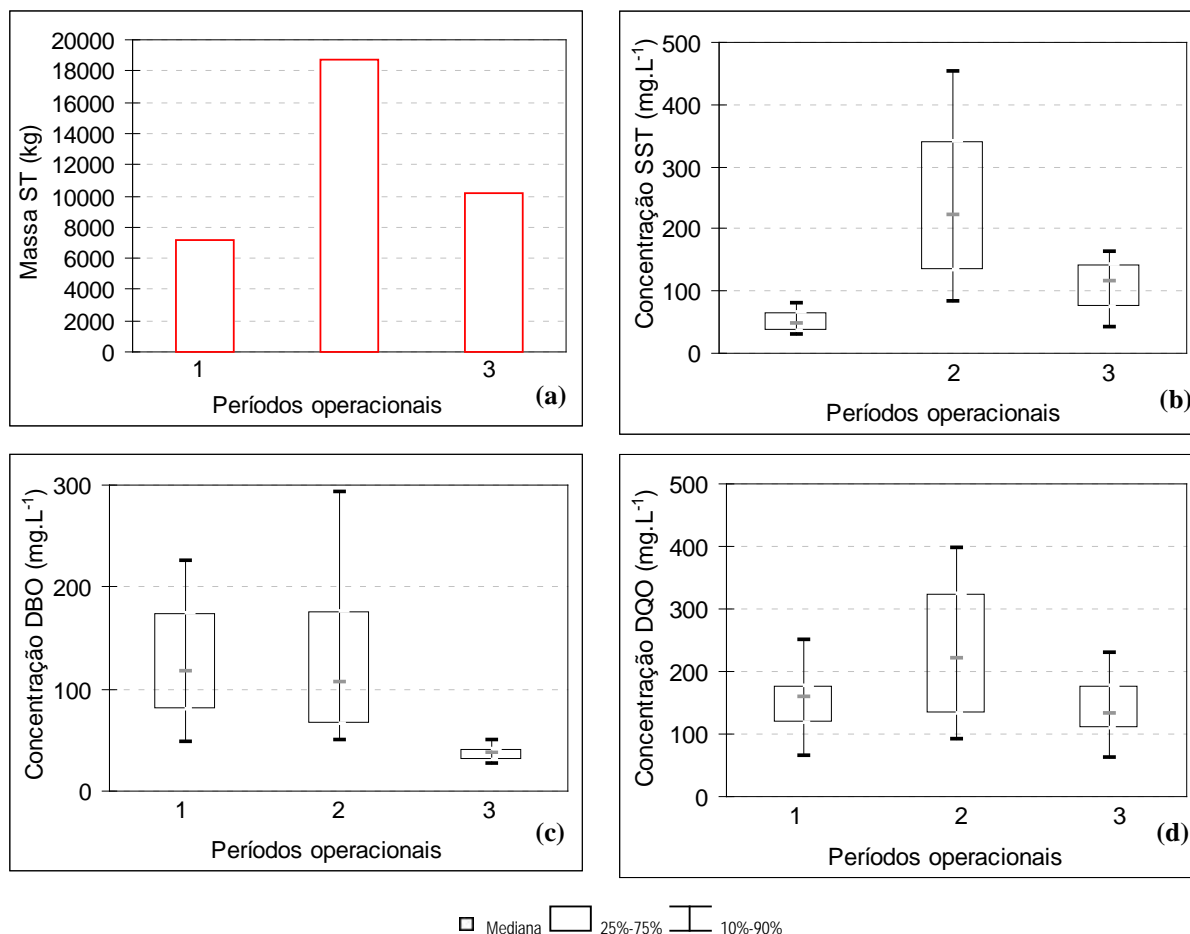
Na ETE Laboreaux, após o período de partida, houve um acúmulo de lodo nos reatores UASB, devido à falta de descarte de lodo excedente. Após a operacionalização do filtro prensa e a partir do cálculo da produção diária de lodo, estabeleceu-se uma rotina para o descarte de lodo. A produção diária de lodo em todo o sistema era descartada a partir dos 7 registros inferiores (lodo do fundo), apenas de dois reatores por dia, em um esquema de rodízio. Entretanto, esta rotina de descarte do lodo excedente não se mostrou viável, uma vez que os operadores encontraram dificuldades nas últimas prensagens, devido ao lodo estar mais diluído, o que acarretava também em um maior consumo de condicionantes químicos. Desta forma, estabeleceu-se a rotina de descarte do lodo inferior de quatro reatores.

A fim de se evitar interrupções na rotina de descarte de lodo devido a possíveis paralisações na operação do filtro prensa, recentemente foram construídos quatro leitos de secagem (área total 600 m<sup>2</sup>). Essas unidades funcionam como suporte ao filtro prensa para o gerenciamento do lodo excedente, evitando assim situações de passivo de lodo no interior dos reatores, o que pode acarretar em um acúmulo de sólidos nos mesmos e a conseqüente deterioração da qualidade do efluente, como já observado na prática operacional.

Os dados referentes à rotina operacional de descarte de lodo excedente e de desidratação no filtro prensa, tais como, tempo de abertura e volume descartado por registro em cada linha de descarte (superior e inferior), concentração de ST no tanque pulmão (antes e após a dosagem dos produtos químicos) e na caçamba, dosagem de cal e cloreto férrico em cada prensagem, número de prensagens e número de caçambas enviadas ao aterro sanitário, são anotados diariamente em formulários específicos para posterior avaliação da eficiência da rotina implementada.

## RESULTADOS

Os resultados do monitoramento para a biomassa no interior de um dos reatores UASB e as concentrações de SST, DBO e DQO no seu efluente, desde o início da operação da ETE *Laboreaux* (julho de 2008), podem ser observadas nos gráficos contidos na Figura 4. Algumas estatísticas descritivas para esses dados são apresentadas na Tabela 2.



**Figura 4: Resultados médios para os períodos operacionais: (a) biomassa; (b) concentrações de SST; (c) concentrações de DBO; (d) concentrações de DQO.**

**Tabela 2: Biomassa no reator e concentração de SST, DBO e DQO no efluente para os períodos operacionais**

Período	SST (mg.L <sup>-1</sup> )			DBO (mg.L <sup>-1</sup> )			DQO (mg.L <sup>-1</sup> )			ST (kg)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Nº dados	25	61	23	26	52	24	26	60	25	11	21	9
Média	52	253	115	135	146	38	154	233	147	8.045	17.923	12.025
Mediana	48	221	114	117	106	38	158	222	132	7.186	18.681	12.199
25%	36	133	73	81	65	30	117	132	108	6.256	17.012	12.026
75%	66	340	142	174	177	41	178	324	175	10.797	18.996	12.451

A partir da Figura 4 pode-se observar claramente que o aumento excessivo da biomassa no interior do reator acarreta em perda de sólidos no efluente do mesmo, prejudicando a sua qualidade e a eficiência do tratamento. Em dois períodos a concentração média de SST no efluente estava abaixo ou próximo a 100 mg.L<sup>-1</sup>, concentração usualmente encontrada em efluentes de reatores UASB, quais sejam: (i) período 1 correspondente a partida do sistema e (ii) período 3 correspondente ao início da operação do filtro prensa. Observa-se que no período 2, onde não houve descarte do lodo excedente e, consequentemente, a biomassa no reator apresentou um valor médio da ordem de 18.000 kgST, as concentrações de SST no efluente do reator eram da ordem de 220 mg.L<sup>-1</sup>, prejudicando a eficiência do sistema de tratamento. A proximidade dos valores de DBO e DQO no período 1 pode ser explicada devido a incertezas nas análises laboratoriais, as quais foram sanadas ainda nesse



período. Essa avaliação foi realizada para todos os demais reatores da estação, apresentando resultados semelhantes para os três períodos.

A partir da avaliação desses gráficos, tomou-se o valor de 8000 kg como referência para a massa admissível no reator. Considerando a vazão atual média afluyente igual a  $80 \text{ L.s}^{-1}$ , concentração de DQO afluyente igual a  $550 \text{ mg.L}^{-1}$  e AME igual a  $0,20 \text{ kgDQO.kgSTV}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , a massa mínima calculada pela Equação 2 é igual a 2376 kgSTV (3960 kgST), sendo adotado o valor de 4000kg. Desta forma, a rotina operacional de lodo excedente implementada deve ser capaz de manter a biomassa entre os valores mínimo e máximo adotados, respectivamente, 4.000 kg e 8.000 kg.

A rotina operacional para o descarte de lodo excedente dos reatores UASB foi definida levando em consideração a produção diária de lodo de  $19 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$  calculada pelas Equações 2 e 3, sendo descartados  $4,75 \text{ m}^3$  de lodo de fundo por reator.

A média da biomassa no período 3, em que a rotina operacional de descarte de lodo foi estabelecida, foi da ordem 10.000 kg, acima ainda do valor máximo adotado, no entanto, uma melhora significativa na qualidade do efluente final já pode ser observada.

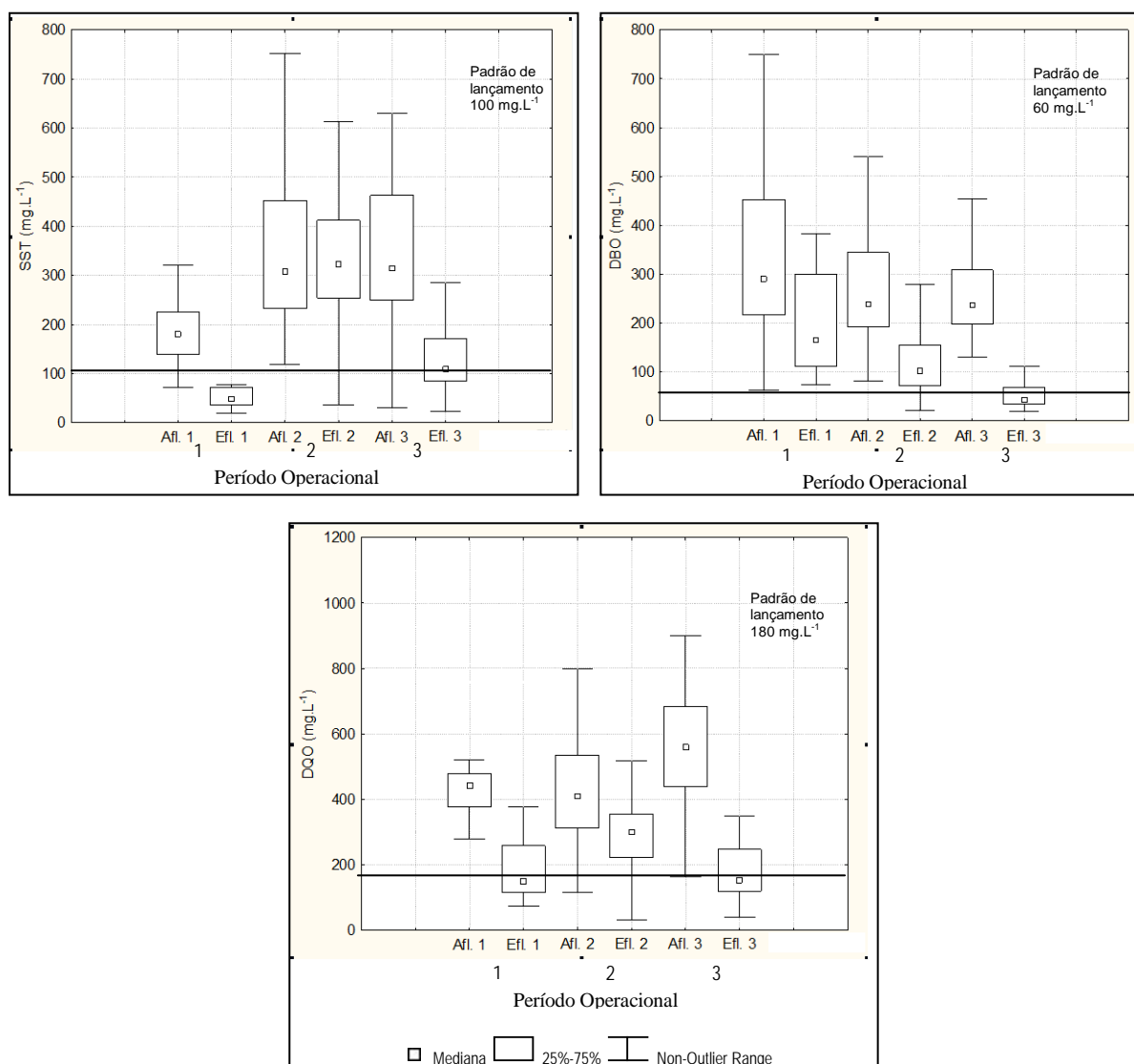
Em situações em que a biomassa no interior dos reatores ultrapassa 8000 kg, uma alternativa seria intensificar a operação da unidade de desidratação mecânica, no entanto, na rotina implementada de descarte da produção diária de lodo, o filtro prensa funciona diariamente por 12 horas, sendo assim, essa intensificação na operação não é viável. Nesse caso, o lodo descartado dos reatores UASB é enviado aos leitos de secagem. Também em situações de paralisações do filtro prensa, o protocolo de descarte de lodo excedente continua a ser executado da mesma forma que apresentado anteriormente, no entanto, ao invés do lodo inferior, o lodo superior é descartado para os leitos de secagem.

As concentrações médias afluentes e efluentes aos reatores UASB, de DBO, DQO e SST, são apresentadas na Tabela 3. A Figura 5 mostra o efeito da falta de descarte de lodo excedente e do funcionamento do filtro prensa na qualidade do efluente de todos os reatores UASB da ETE *Laboreaux*.

**Tabela 3: Concentrações médias de SST, DBO e DQO afluyente e efluente aos reatores para os períodos operacionais**

Período	SST			DBO			DQO		
	Afluyente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Efluente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Eficiência (%)	Afluyente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Efluente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Eficiência (%)	Afluyente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Efluente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Eficiência (%)
1	180	49	73	291	165	43	441	150	66
2	307	323	-	239	101	58	411	300	27
3	315	109	65	238	44	81	559	153	73

Observa-se que o mesmo padrão observado para as concentrações de SST, DBO e DQO quando se tratando do efluente de um reator apenas (Figura 4) é observado quando se considera o efluente conjunto de todos os reatores, indicando que a implementação da rotina de descarte de lodo excedente possibilitou a melhoria da qualidade do efluente dos reatores UASB e, conseqüentemente, as condições operacionais da estação. Após a partida do sistema, o período de melhor desempenho refere-se àquele em que a rotina de descarte de lodo excedente foi implementada (período 3). O período 2, de fraco desempenho, refere-se à ausência de descargas de lodo dos reatores. Nesse período a deterioração da qualidade do efluente pode ser notada em todos os parâmetros, sendo as médias observadas para SST, DBO e DQO iguais a 323, 101 e 300  $\text{mg.L}^{-1}$ , respectivamente. A eficiência de remoção de SST para o período 2 foi negativa devido à perda de sólidos no efluente, fato esse atribuído ao acúmulo de lodo nos reatores UASB. Para DQO essa eficiência também foi baixa, da ordem de 27%.



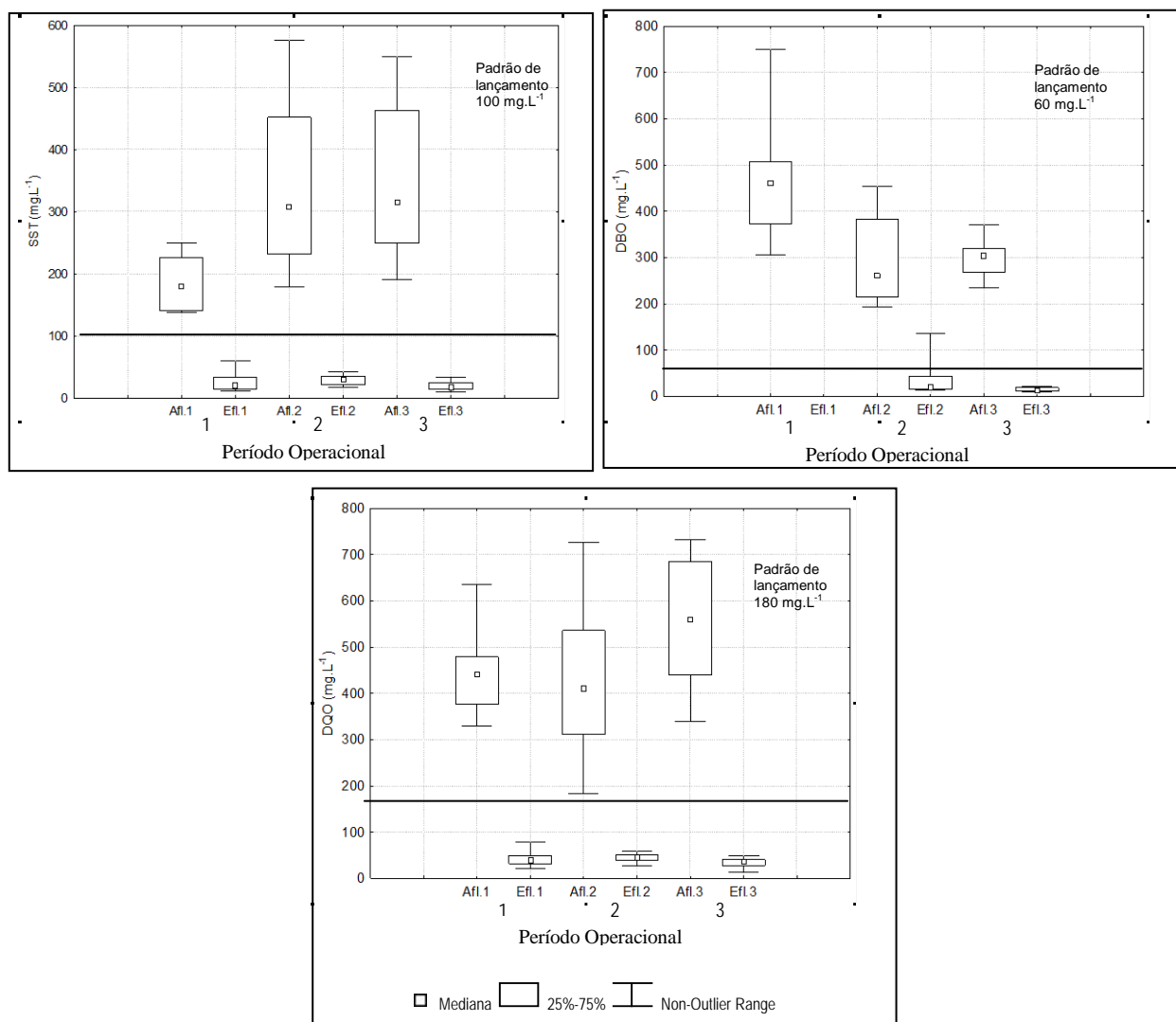
**Figura 5: Box-plot das concentrações de SST, DBO e DQO afluente e efluente aos reatores.**

Na Tabela 4 e Figura 6 são apresentados os resultados para o efluente final da estação, considerando todas as etapas do tratamento (reatores UASB seguido de filtro biológico percolador e decantadores secundários).

**Tabela 4: Concentração de SST, DBO e DQO afluente e efluente à estação para os períodos operacionais**

Período	SST (mg.L <sup>-1</sup> )			DBO (mg.L <sup>-1</sup> )			DQO (mg.L <sup>-1</sup> )		
	Afluente	Efluente	Eficiência	Afluente	Efluente	Eficiência	Afluente	Efluente	Eficiência
1	180	20	89	291	54	81	441	39	91
2	307	29	91	239	18	92	411	44	89
3	315	18	94	238	11	95	559	35	94

Os valores encontrados para o efluente final da estação atende, em todos os períodos operacionais, aos padrões de lançamento para SST, DBO e DQO, iguais a 100, 60 e 180 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, apresentando eficiências de remoção superiores a 80% em todos os períodos.



**Figura 6: Box-plot das concentrações de DBO, DQO e SST afluente e efluente à estação.**

#### *Avaliação do impacto da recirculação de lodo aeróbio na qualidade do efluente final do sistema*

O lodo aeróbio foi recirculado aos reatores UASB usando-se a vazão máxima da estação elevatória de recirculação, de maneira contínua e sem intervalos durante 6 a 7 horas por dia. Com a automação, pretende-se alterar a rotina de recirculação do lodo aeróbio, passando a realizá-la de forma gradual ao longo do dia, cenário considerado o ideal. Pretende-se recircular 4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, considerando os dois decantadores secundários, o que totaliza 96 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>.

A partir da vazão de recirculação do lodo aeróbio (96 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>) e da vazão média afluente à ETE Laboreaux (6.912 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>), calculou-se o impacto de apenas 1,4% da vazão de recirculação do lodo aeróbio na vazão diária afluente à ETE, o que não acarretaria em prejuízos na qualidade do efluente dos reatores UASB e, consequentemente, na eficiência global do sistema.

Como a rotina de automação da recirculação do lodo aeróbio ainda não foi implementada, não foi possível coletar dados da qualidade do efluente que permitisse a comparação da influência dessas duas rotinas operacionais (antes e após a automação) no desempenho do sistema.



### Consumo de condicionantes químicos

A partir do acompanhamento da rotina de descarte de lodo excedente e do funcionamento do filtro prensa na ETE *Laboreaux*, para o ano de 2010 (a operação do filtro prensa iniciou-se em meados de maio de 2010), foi possível calcular as relações apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4:** Uso de condicionantes químicos no filtro prensa

Ano	Mês	Volume total de lodo descartado (m <sup>3</sup> )	Número de prensagens	Volume por prensagem (m <sup>3</sup> )	Cal aplicada (kg.mês <sup>-1</sup> )	Cloreto férrico (L.mês <sup>-1</sup> )	Cal/ Cloreto Férrico
2010	Maio	289,7	61	4,75	5.350	4.365	1,2
	Junho	446,5	94	4,75	7.580	7.050	1,1
	Julho	380,0	80	4,75	5.380	6.190	0,9
	Agosto	560,5	121	4,63	9.440	9.440	1,0
	Setembro	489,2	104	4,70	6.720	6.720	1,0
	Outubro	403,7	93	4,34	6.160	6.160	1,0
	Novembro	432,2	102	4,24	7.280	7.280	1,0
	Dezembro	527,2	139	3,79	9.540	9.400	1,0
	Média	462,8	105	4,75	7.443	7.463	1,0

Em média são descartados 463 m<sup>3</sup> de lodo por mês, o que está de acordo com a rotina de descarte estabelecida que definiu 19 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> de lodo a serem descartados diariamente dos reatores UASB da ETE *Laboreaux* (25 dias de descartes por mês).

O consumo médio de condicionantes químicos é de 7.443 kg.mês<sup>-1</sup> de cal e 7.463 L.mês<sup>-1</sup> de cloreto férrico. O levantamento desses dados tem como intuito quantificar e otimizar o consumo de condicionantes químicos sob a perspectiva de diferentes concentrações do lodo excedente.

### CONCLUSÕES

- A partir do cálculo da produção diária de lodo no sistema, 19m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> para uma vazão afluyente de esgoto de 80L.s<sup>-1</sup>, estabeleceu-se uma rotina operacional para descarte de lodo excedente dos reatores UASB. Ao se comparar os resultados dos parâmetros SST, DQO e DBO para o período em que a estação não contava com uma rotina de descarte de lodo e o período que tal rotina foi implementada, observa-se uma melhora significativa da qualidade do efluente final nesse último período.
- O estabelecimento de um protocolo sistematizado de descarte de lodo nos reatores UASB da ETE *Laboreaux* possibilitou a retirada de enorme passivo de lodo que se acumulou durante o período em que o sistema de desidratação esteve fora de operação.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C. A. L (2007). *Reatores anaeróbios*. 2. Ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 380 p. (Princípio do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).
2. LEITÃO, R. C., SANTAELLA, S. T., VAN HAANDEL, A. C., ZEEMAN, G., LETTINGA, G. (2010). The effect of operational conditions on the hydrodynamic characteristics of the sludge bed in UASB reactors. In: PROC.OF THE 12<sup>TH</sup> WORLD CONGRESS ON ANAEROBIC DIGESTION. Guadalajara, México.