



## II-445 - AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS ANALÍTICAS PARA DETERMINAÇÃO DE BIOMASSA ADERIDA NO PROCESSO REATOR BIOLÓGICO COM LEITO MÓVEL (MBBR)

**Daniel Vieira Minegatti de Oliveira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa, Mestre em Tecnologia de Saneamento Ambiental em Recursos Hídricos – COPPE-UFRJ.

**Isaac Volschan Junior**

D.Sc., Prof. Adjunto do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ.

**Eduardo Pacheco Jordão**

Dr.Eng., Prof. Adjunto do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Carlos Chagas Filho nº 791 - Pólo Biotecnologia Quadra B - Lote 09, Cidade Universitária - Ilha do Fundão. CEP: 21941-904. Rio de Janeiro, RJ - Brasil - Tel: +55 (21) 9265-7788 - email: daniel.minegatti@gmail.com

### RESUMO

“*Moving Bed Biofilm Reactor*” pode ser traduzido como Reator Biológico com Leito Móvel e consiste em uma tecnologia baseada na combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida (processo híbrido). O trabalho, a priori, apresenta e discute alguns conceitos inerentes à tecnologia após investigação do desempenho de um MBBR submetido a carga orgânica volumétrica (COV) média de 1,0 kgDBO/m<sup>3</sup>.d. O meio suporte utilizado, contendo 600 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de Área Superficial Específica, foi introduzido no reator biológico de acordo com volume relativo de 20% do mesmo.

Além disso, o presente trabalho apresenta diversas metodologias analíticas aplicadas para a quantificação da biomassa aderida ao meio suporte e seus respectivos resultados, ressaltando também importância desta quantificação para o processo e, conseqüentemente, para o dimensionamento do mesmo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de Esgotos, MBBR, Biomassa Aderida.

### OBJETIVO

Apresentar e discutir conceitos inerentes a tecnologia MBBR e avaliar metodologias analíticas para a quantificação de biomassa aderida ao meio suporte presente no processo MBBR, de acordo com ensaios realizados em unidade em escala piloto, no Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ com capacidade para população equivalente de 500 habitantes.

### INTRODUÇÃO

#### *Princípios da Tecnologia*

“*Moving Bed Biofilm Reactor*” pode ser traduzido como Reator Biológico com Leito Móvel e consiste em uma tecnologia baseada na combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida (biofilme).

No interior do reator biológico são mantidos em suspensão meios suporte plásticos de baixa densidade, que sujeitos à agitação promovida por sistemas de aeração ou de mistura, apresentam elevada mobilidade e, conseqüentemente, exposição e contato com a massa líquida em suspensão. Trata-se assim de um reator biológico híbrido, no qual organismos decompositores são mantidos tanto em suspensão na massa líquida, como também aderidos ao meio suporte, permitindo o aumento da totalidade da biomassa e a elevação do tempo de retenção celular. A maior concentração de sólidos mantida no reator permite, em princípio, a maior decomposição da matéria orgânica carbonácea e de compostos nitrogenados, o que conseqüentemente resulta no requisito de menor volume para o reator biológico.

Desta forma, a tecnologia MBBR pode ter como objetivo a remoção de matéria orgânica carbonácea e a nitrificação, e de acordo com configurações específicas, a desnitrificação e a remoção de fósforo.



O processo pode ser implementado para o caso de novas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), porém, em geral, sua maior aplicação da tecnologia visa incrementar o desempenho de unidades de tratamento biológico já existentes, por meio da transformação de processos de lodos ativados em MBBR, ou como unidade complementar de pré ou pós-tratamento secundário. No caso, a literatura não reporta o emprego da recirculação do lodo secundário, exceto quando aplicado de acordo com a configuração de pré-desnitrificação.

Quando aplicado em câmaras anóxicas, é requerida a instalação de equipamentos de mistura, de forma a evitar a sedimentação de sólidos e promover a movimentação dos meios suporte no interior do reator. Para o caso de câmaras aeróbias, o próprio sistema de aeração empregado para a transferência do oxigênio é responsável pela mistura do meio e pela manutenção dos meios suporte em movimento. O processo MBBR somente empregam aeração por ar difuso de forma que a estrutura física dos meios suporte seja preservada. A Tabela 1 apresenta as características e condições operacionais reportadas na literatura.

**Tabela 1: Características e condições operacionais de reatores MBBR**

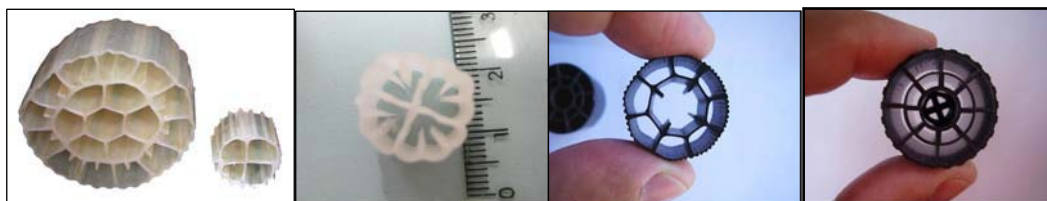
<b>Autores</b>	<b>Efluente</b>	<b>Configuração</b>	<b>Adição química</b>	<b>Recirculo de lodo</b>
HONG-BIN <i>et al.</i> (2007)	Sintético	O+O	Não	Não
WANG <i>et al.</i> (2006)	Doméstico	O	Sim	Não
LUOSTARINEN <i>et al.</i> (2006)	Doméstico	UASB+O	Sim	Não
BORGHEI & HOSSEINI (2004)	Sintético	O+O	Não	Não
DAUDE & STEPHENSON (2003)	Doméstico	O+O	Não	Não
ANDREOTTOLA <i>et al.</i> (2003b)	Doméstico	O+FBFR	Não	Não
JONOUUD <i>et al.</i> (2003)	Sintético	A+O	Não	Não
PARKER <i>et al.</i> (2002)	Sintético	O+LA	Não	Sim - para LA
JAHREN <i>et al.</i> (2002)	Celulose e Papel	O	Sim	Não
HELNESS & ØDEGAARD (2001)	Sintético	SBR	Não	Não
ANDREOTTOLA <i>et al.</i> (2000)	Doméstico	O+O	Não	Não
ØDEGAARD <i>et al.</i> (2000)	Doméstico	O	Não	Não
SUNNER <i>et al.</i> (1999)	Misto	O+LA e O	Não	Não
RUSTEN <i>et al.</i> (1998)	Doméstico	O+RBC	Não	Sim - para RBC
RUSTEN <i>et al.</i> (1997)	Doméstico	A+A+O+O	Sim	Sim
BROCH-DUE <i>et al.</i> (1997)	Celulose e Papel	O+O	Sim	Não
PASTORELLI <i>et al.</i> (1997)	Doméstico	O+O+O	Não	Não
RUSTEN <i>et al.</i> (1995)	Doméstico	A+A+A+O+O+O	Sim	Não
RUSTEN <i>et al.</i> (1994b)	Celulose e Papel	O+O	Sim	Não
RUSTEN <i>et al.</i> (1994a)	Doméstico	O+O+O+O+O+A+A+	Sim	Não
HEM <i>et al.</i> (1994)	Sintético	O	Não	Não
ØDEGAARD <i>et al.</i> (1994)	Industrial	O+O+O	Sim	Não
ØDEGAARD <i>et al.</i> (1993)	Doméstico	A+O+O	Sim	Não

Misto = Doméstico + Industrial; A = MBBR Anóxico; O = MBBR Aeróbio; LA = Lodos Ativados; RBC = Biodisco Rotativo de Contato; FBFR = Reator Biológico com Leito Fixo; SBR = MBBR em Batelada

**Fonte: Minegatti (2008)**

### **Meio Suporte**

O material frequentemente utilizado para a fabricação dos meios suportes é o polietileno. A forma cilíndrica é a mais empregada, contendo corrugações externas e divisões internas. O desenvolvimento mais recente da tecnologia aponta para meios suporte na forma de disco. A Figura 1 ilustra alguns tipos de meio suporte aplicados no processo MBBR.



**Figura 1: Meios suporte aplicados no processo MBBR**

Segundo PASTORELLI *et al.* (1997), a densidade do meio suporte deve ser da ordem de  $1 \text{ g/cm}^3$ . As pesquisas de ØDEGAARD *et al.* (1993, 1994); RUSTEN *et al.* (1994, 1998) sempre utilizaram meios suporte cilíndricos com densidade de  $0,95 \text{ g/cm}^3$ .

As diferentes configurações dos meios suporte resultam em diferentes áreas de contato, as quais podem ainda apresentar maior ou menor potencial para aderência de biomassa em função do arranjo e desenho geométrico da peça, como indica a Tabela 2.

**Tabela 2: Configurações geométricas dos principais meios suporte empregados no processo MBBR**

Empresa	Massa específica ( $\text{g/cm}^3$ )	Forma	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Kaldnes (K1)	0,95	Cilíndrica	10	7
Kaldnes (K2)	0,95	Cilíndrica	15	15
Kaldnes (K3)	0,95	Cilíndrica	25	10
Veolia (BiofilmChip M)	0,99	Disco	2,2	45
Aqwise	ND	Cilíndrica	14	14
AMBIO	0,99	Cilíndrica	25	25
Degremont (ActiveCell450®)	ND	Cilíndrica	22	15
Degremont (ActiveCell515®)	ND	Cilíndrica	22	20

ND = informação não disponível.

**Fonte: Minegatti (2008).**

A movimentação e o choque entre os meios suporte mantidos no interior do reator fazem com que as faces externas dos mesmos sejam continuamente sujeitas a eventual perda de biomassa aderida. Entende-se que neste caso, a configuração da superfície externa do meio suporte não somente influencie a adesão de biomassa assim como a perda da mesma; superfícies mais corrugadas e acidentadas tendem a conter nichos que proporcionem a maior aglomeração de organismos e que dificultem o cisalhamento de biomassa aderida. Neste contexto, a área de efetiva aderência de biomassa tende a ser igual à área total disponível, quanto maior for a capacidade de retenção de biomassa que o meio suporte apresentar.

O processo MBBR tem a “área superficial específica” como principal parâmetro de referência e especificação do meio suporte empregado, pelo fato de relacionar a quantidade de meio suporte presente no reator à quantidade potencial de biomassa aderida. É dada pela razão entre a totalidade da área de meios suporte ( $\text{m}^2$ ) e o volume por eles ocupado ( $\text{m}^3$ ), considerado o devido empolamento das peças em função da disposição natural das mesmas por unidade de volume ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ).

Deve ainda o conceito de “área superficial específica” contemplar somente a superfície do meio suporte, na qual efetivamente ocorre a aderência de biomassa. Neste sentido, a totalidade de área superficial disponível para a efetiva aderência de biomassa em um MBBR ( $\text{m}^2$ ) corresponde ao produto entre a área superficial do meio suporte, considerando somente a superfície de efetiva aderência de biomassa, e a quantidade de meios suporte de fato contida em unidade de volume igual a  $1 \text{ m}^3$ .

A importância da correta interpretação do conceito de “área superficial específica” deve-se ao fato de que a quantidade de meio suporte introduzida no reator biológico é determinada em função da efetiva quantidade de biomassa aderida que se pretende manter no processo.



É usual referir-se à quantidade de meios suporte a ser adicionada ao reator como um percentual do seu volume. Segundo estudos de ØDEGAARD *et al.* (1993); ØDEGAARD *et al.* (1994); RUSTEN *et al.* (1998); ANDREOTTOLA *et al.* (2000) e outros autores, a quantidade de meio suporte no reator MBBR deve ser compreendida entre 40 e 70% do seu volume.

Neste contexto, é importante ressaltar que “área superficial específica” como anteriormente definida, não deve ser relacionada ao volume do reator biológico, porém ao volume de meios suporte nele contida ( $\text{m}^2/\text{m}^3$  de meio suporte). No entanto, há referências na literatura que relacionam área disponível e volume de reator, como por exemplo, as indicações de ØDEGAARD *et al.* (1994) e RUSTEN *et al.* (1994), que para o volume relativo de 70%, sugerem valores na faixa de 335 a 350  $\text{m}^2$  de área superficial disponível por  $\text{m}^3$  de reator.

### Biomassa

Como anteriormente descrito, a aplicabilidade do processo ocorre tanto para o caso de novas ETEs, assim como para o caso de adaptações no processo de lodos ativados de ETEs existentes. É, portanto muito clara e natural a analogia entre o processo MBBR e o processo de lodos ativados. Consequentemente, são comuns a ambos os processos os mesmos parâmetros de projeto e de controle. A única particularidade do processo MBBR, reside no fato de que a biomassa responsável pela decomposição de substratos não é somente devida aos microorganismos em suspensão como também àqueles aderidos aos meios suporte.

A literatura usualmente caracteriza a biomassa aderida aos meios suporte com base na concentração de ST, com exceção de ANDREOTTOLA *et al.* (2003) e HONG-BIN *et al.* (2007), que relacionam os seus experimentos, respectivamente, com as concentrações de SST e SSV. Em qualquer um dos casos, em se tratando do processo MBBR, deverão ser consideradas tanto as concentrações de sólidos aderidos ao meio suporte assim como aquelas em suspensão, cujo somatório representaria a totalidade da biomassa presente no reator.

É também usual a literatura somente fazer referência à quantidade de biomassa presente no processo MBBR com base na massa de sólidos aderida por área superficial de meio suporte, expressa em  $\text{g}/\text{m}^2$ . A Tabela 3 resumidamente indica as quantidades de biomassa com que trabalharam alguns autores.

**Tabela 3: Quantidades de biomassa presentes em reatores MBBR**

Autores	Massa de sólidos aderida ao meio suporte ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	Concentração de sólidos ( $\text{mg}/\text{l}$ )
HONG-BIN <i>et al.</i> (2007)	5,0 SSV	-
LUOSTARINEN <i>et al.</i> (2006)	26 a 44 ST	-
ANDREOTTOLA <i>et al.</i> (2003b)	4,0 SST	-
JAHREN <i>et al.</i> (2002)	-	1.400 a 1.900 SSV <sup>(a)</sup>
RUSTEN <i>et al.</i> (1998)	-	4.250 ST <sup>(b)</sup>
RUSTEN <i>et al.</i> (1994b)	-	2.300 ST <sup>(b)</sup>
RUSTEN <i>et al.</i> (1994a)	-	4.000 ST <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Biomassa aderida

<sup>(b)</sup> Biomassa aderida + suspensão

A dinâmica do processo MBBR permite a similaridade dos parâmetros operacionais e de controle que são aplicados ao processo de lodos ativados, guardada a especificidade de que a massa total de sólidos no tanque de aeração é também devida à biomassa aderida.



## MATERIAIS E MÉTODOS

O aparato experimental objeto do presente trabalho é principalmente constituído pela adaptação da unidade de Lodos Ativados existente nas instalações do Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ. Em unidade experimental, para a população equivalente de 500 habitantes, o processo MBBR é uma das 15 tecnologias de tratamento de esgotos que compõem este laboratório, cuja missão é a de atender aos objetivos acadêmicos de ensino e pesquisa dos cursos de graduação e pós-graduação da UFRJ.

O tratamento preliminar constituído por grade de barras e desarenador e precede a unidade MBBR, cujo tanque de aeração possui volume de 20,25 m<sup>3</sup>, os dois decantadores secundários são de seção superficial quadrada e base tronco-piramidal, estruturados em fibra de vidro, e apresentam cada um, área superficial de 2,56 m<sup>2</sup> e profundidade total de 2,2 m, como ilustra a Figura 2. O sistema de aeração é constituído por um compressor de ar com potência de 2,2 HP e uma malha difusora de bolhas finas com 20 discos de membranas porosas, instalada junto ao fundo da unidade.

O meio suporte plástico utilizado (AMBIO Engenharia) apresenta as seguintes características: forma cilíndrica, 25 mm de diâmetro e de altura, densidade em torno de 1 g/cm<sup>3</sup>, índice de vazios de 82,3%, área superficial total da peça de 0,011605 m<sup>2</sup> e a “área superficial específica” de 600 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. A Figura 3 ilustra o meio suporte plástico utilizado.

Os dados a serem utilizados no presente trabalho correspondem àqueles obtidos em projeto de pesquisa durante o período de abril de 2007 a agosto de 2008, no qual o processo foi submetido a uma carga orgânica volumétrica média de 1,0 kgDBO/m<sup>3</sup>.d (carga orgânica superficial média de 7,7 kgDBO/m<sup>2</sup>.d), tempo de detenção hidráulica de 5,5 horas, e mantendo a concentração média de oxigênio dissolvido (OD) no reator acima de 3 mg/l em 90% do período monitorado.



Figura 2: Unidade experimental MBBR



Figura 3: Meio suporte plástico utilizado





Para quantificação da biomassa aderida ao meio suporte foram realizadas análises semanais, segundo seis diferentes metodologias, que podem ser distinguidas em função do emprego de técnica de remoção prévia ou não da biomassa aderida ao meio suporte.

Dentre estas, a única metodologia que manteve a biomassa aderida aos meios suporte foi aquela denominada “ST”, enquanto as demais, denominadas “Limpeza/Lavagem”; “Limpeza/Lavagem + massa líquida”; “Ultra-Som”; “Hidróxido de Sódio” e “Ultra Som + Hidróxido de Sódio”, a quantificação da massa de sólidos se fez a partir do seu desprendimento e remoção dos meios suporte, de acordo com técnicas específicas.

Na metodologia “ST”, a massa de sólidos foi obtida de acordo o seguinte protocolo, o qual obedeceu aos princípios da metodologia para a quantificação de sólidos totais em uma amostra de água (APHA, 2006):

- Pesar separadamente em uma balança analítica a massa de 25 peças virgens do meio suporte aleatoriamente selecionadas e obter a massa média das peças, expressa em gramas;
- Adicionar a esta massa média das peças, a massa das cápsulas de porcelana, previamente aferida, obtendo-se a massa denominada P0;
- Retirar, de forma aleatória, 25 peças do interior do reator e separadamente, em cápsulas de porcelana, previamente pesadas, depositá-las;
- Levar as 25 cápsulas contendo as peças em estufa a temperatura compreendida entre 103-105 °C durante uma hora, para permitir a evaporação do líquido;
- Após resfriamento em dessecador a temperatura ambiente, novamente pesar cada um dos 25 conjuntos, obtendo assim a massa denominada P1;
- Por fim, obter a massa de sólidos aderida ao meio suporte, por meio da média aritmética das diferenças entre as massas P0 e P1 das 25 peças selecionadas.

Conforme já mencionado, as outras cinco diferentes metodologias foram baseadas no prévio desprendimento e remoção de sólidos do meio suporte, cada qual utilizando técnica específica para este fim. Em todos os casos, a quantificação da biomassa teve como referência não somente a concentração de ST, como também as concentrações de SST e SSV. Por outro lado, em função dos procedimentos específicos empregados na metodologia “ST”, a mesma não permitiu que a quantificação da biomassa também tivesse como referência as concentrações de SST ou SSV.

A metodologia “Limpeza/Lavagem” consistiu em remover a biomassa aderida por meio de lavagem com água destilada, obedecendo ao seguinte protocolo:

- Retirar, de forma aleatória, 25 peças do interior do reator, e colocá-las conjuntamente em um recipiente contendo volume de 250 ml de água destilada;
- Vedar e agitar o recipiente de forma a incentivar o desprendimento dos sólidos aderidos;
- Transferir toda a massa líquida para outro recipiente;
- Reintroduzir novo volume de 250 ml de água destilada no recipiente contendo os meios suporte e repetir os mesmos procedimentos anteriores visando à remoção da massa de sólidos eventualmente ainda aderida;
- Reunir em um só volume de 500 ml a totalidade da massa líquida e a partir desta, promover a marcha total de sólidos da forma como preconizada (APHA, 2006).

Já a metodologia “Limpeza/Lavagem + massa líquida” diferiu da metodologia “Limpeza/Lavagem”, anteriormente descrita, em função da forma como ocorreu a retirada aleatória de peças do interior do tanque de aeração. No primeiro caso, não se teve a preocupação de preservar a massa líquida presente no interior do meio suporte e que dele era expulsa em função da movimentação e trajetória da peça desde o tanque de aeração, onde se encontrava, até o recipiente de armazenamento da mesma. A presente metodologia teve, portanto, a preocupação em preservar a massa líquida em referência, e neste sentido a retirada das peças de dentro do tanque de aeração é cercada de maiores cuidados. Os procedimentos em laboratório subsequentes consistiram nos mesmos empregados pela metodologia “Limpeza/Lavagem”.

A metodologia “Ultra-Som” empregou os princípios da sonificação para a remoção da biomassa aderida as peças. No caso, após a retirada de seis peças do interior do tanque de aeração, foram as mesmas colocadas conjuntamente em um recipiente com 500 ml de água destilada, que hermeticamente vedado foi levado ao aparelho de ultra-som. Após o período de 1 hora de sonificação, as peças foram retiradas do recipiente, sendo



a massa líquida submetida a marcha total de sólidos da forma como preconizada por APHA (2006). A sonificação é baseada no princípio de que os efeitos da intensa micro-agitação decorrente da geração de ondas ultrassônicas sejam capazes de promover o desprendimento da biomassa aderida.

A metodologia “Hidróxido de Sódio” empregou o princípio de que a presença de NaOH em elevada temperatura promove a lise das bactérias e conseqüentemente permite a remoção da biomassa aderida às peças (CAMMAROTA, 1998). Ressalta-se que neste caso não é adequada a determinação de ST, STF e STV, pelo fato da presença do NaOH influenciar a quantificação dos mesmos. Por outro lado, tal influência em princípio não ocorre quando submetida a amostra a determinação de SST em processo de filtração do NaOH durante o procedimento. Neste sentido, adota-se o seguinte protocolo:

- Retirar 6 peças do interior do tanque de aeração, e colocá-las em cápsulas de porcelana, independentemente, cada uma contendo solução de 1% de NaOH em volume que permita a total submersão da peça, que no presente caso correspondeu a 30 ml;
- Submeter as cápsulas ao banho-maria, a temperatura de 90°C, por aproximadamente 20 minutos, revirando-as freqüentemente de forma a incentivar o desprendimento e extração da biomassa;
- Após o resfriamento das cápsulas, retirar as peças do recipiente, e submeter a massa líquida remanescente à determinação de SST e SSV da forma como preconizada (APHA, 2006).

Por fim, a metodologia “Ultra-Som + Hidróxido de Sódio” consistiu no emprego dos princípios da sonificação e utilizou o NaOH como “catalisador” do processo de remoção da biomassa aderida às peças. Desta forma, após retirada de 6 peças do interior do tanque de aeração, foram as mesmas colocadas conjuntamente em um recipiente contendo 500 ml de solução de 1% de NaOH, que hermeticamente vedado foi levado ao aparelho de ultra-som. Em seguida, após 1 hora de sonificação, as peças são retiradas do recipiente, sendo a massa líquida submetida à determinação de SST e SSV da forma como preconizada por APHA (2006). Novamente, observa-se a presença do NaOH influenciar a quantificação de ST, STF e STV.

## RESULTADOS

O conceito de “área superficial específica” do meio suporte expressa a razão entre a área disponível e o volume que ela ocupa. No entanto, pode este conceito ser interpretado segundo duas diferentes maneiras, e levar a obtenção de diferentes valores, o que pode comprometer a adequada especificação do meio suporte e o correto dimensionamento do processo MBBR.

Considerando que a quantidade de meio suporte a ser aplicada no reator é usualmente definida em base volumétrica, é necessário que a sua especificação contemple a quantidade de peças contidas em um volume unitário, considerando portanto o empolamento devido aos espaços vazios entre as peças.

Este conceito difere da simples razão entre a área superficial de uma peça de meio suporte e o volume por ela ocupado, uma vez que na prática, o fornecimento e a colocação do meio suporte não se fazem peça a peça e sim com base volumétrica.

No presente caso, considerando assim a primeira abordagem, obter-se-ia a área superficial específica de 635 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, resultado do produto entre 0,011605 m<sup>2</sup>/peça e 55.000 peças contidas em 1m<sup>3</sup>, como informado pelo fabricante, quantidade equivalente a 92 peças contidas em um recipiente de 18 L, como amostrado. Caso fosse quantificada, indevidamente, com base na segunda abordagem, este valor seria de 940 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

A observação visual *in loco* da peça e conforme ilustra as fotografias da Figura 4, apontam para a integral aglomeração de biofilme no interior da mesma, enquanto em sua superfície externa somente se verifica a explícita formação de biofilme nas depressões das partes corrugadas.



**Figura 4: Biomassa aderida ao meio suporte utilizado**

Assim, a área disponível de  $0,011605 \text{ m}^2$  por peça, incluindo as partes internas e externas, corresponderia a “área superficial específica” de  $635 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , enquanto a área de  $0,010908 \text{ m}^2$  de efetiva aderência, excluindo as áreas externas, que pela observação visual não apresentavam agregação de biofilme, corresponderia a “área superficial específica” de  $600 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Por outro lado, caso fosse abordado erroneamente o conceito de área superficial de uma única peça (sem empolamento), ou seja, razão entre a área superficial de uma peça e o volume por ela ocupado, e considerado somente a área com evidente agregação de biofilme, a “área superficial específica” seria da ordem de  $890 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

De qualquer forma, ressalta-se que devem sempre as especificações dos meios suporte serem avaliadas a luz dos critérios aqui discutidos para que cada uma das diferentes peças comercializadas para aplicação no processo MBBR possam ser técnica e economicamente devidamente comparadas.

Por fim, esta discussão permite a reflexão de que ao invés dos meios suportes serem especificados em função da área superficial específica efetiva ou não, o fossem com base no potencial de aderência de biomassa que cada um possui, expresso em  $\text{kgSSV}/\text{m}^3$ .

Os resultados que serão a seguir apresentados, em relação a massa de sólidos aderida ao meio suporte, são decorrentes das diferentes metodologias empregadas e anteriormente apresentadas, e expressam os valores médios obtidos em função das diversas campanhas de quantificação realizadas neste experimento.

A literatura usualmente caracteriza a biomassa aderida ao meio suporte com base na concentração de ST, determinada de acordo com a metodologia anteriormente discutida e denominada “ST”. Entende-se que esta metodologia serve como referência para avaliação dos resultados obtidos por meio das demais.

As metodologias que empregam o uso de Hidróxido de Sódio comprometem a quantificação de ST, pelo fato do próprio NaOH, apesar de dissolvido, representar a adição de sólidos à amostra. Portanto, a Tabela 5 apresenta as estatísticas dos resultados obtidos referentes às massas de ST, SST e SSV ( $\text{g}/\text{peça}$ ) com o emprego de cada uma das metodologias.



**Tabela 5: Massa de ST, SST e SSV aderida ao meio suporte (g/peça)**

Metodologias		Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variância	Percentis				
					10	25	50	75	90
ST	ST	0,44	0,36	0,82	0,19	0,21	0,26	0,51	0,96
Lavagem/Limpeza	ST	0,05	0,02	0,28	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06
	SST	0,04	0,02	0,37	0,03	0,03	0,05	0,06	0,07
	SSV	0,03	0,01	0,43	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
Lavagem/Limpeza + massa líquida	SST	0,06	0,06	0,67	0,03	0,04	0,07	0,08	0,08
	SSV	0,04	0,08	0,73	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06
Ultra-Som	ST	0,35	0,11	0,31	0,23	0,27	0,34	0,45	0,49
	SST	0,19	0,11	0,57	0,12	0,12	0,17	0,20	0,27
	SSV	0,1	0,03	0,34	0,06	0,07	0,10	0,12	0,15
Hidróxido de Sódio	SST	0,26	0,09	0,34	0,18	0,21	0,25	0,32	0,36
	SSV	0,17	0,1	0,61	0,08	0,08	0,16	0,24	0,28
Ultra-Som + Hidróxido de Sódio	SST	0,14	0,06	0,43	0,10	0,11	0,12	0,12	0,15
	SSV	0,08	0,08	0,96	0,02	0,05	0,06	0,07	0,15

Observa-se que por meio da metodologia “Lavagem/Limpeza” obteve-se valores de ST da ordem de 10 a 15% das demais metodologias empregadas, enquanto a quantificação com o emprego de ultra-som alcançou valores próximos aos obtidos pela metodologia de referência “ST”. Neste sentido é possível afirmar que, em geral, a metodologia “Ultra-som” seja adequada para quantificação de massa de sólidos aderida a meios suporte, e que a metodologia “Lavagem/Limpeza” não o é.

Para efeito de analogia ao processo de lodos ativados, pretendeu-se quantificar a biomassa do processo MBBR com base na concentração de SST aderida e suspensa. Observa-se que as metodologias de quantificação da massa de SST aderida que empregam o uso de NaOH puderam desta vez ser contempladas, uma vez que este elemento estaria presente na fração dissolvida e filtrada da amostra.

Observa-se que as metodologias “Lavagem/Limpeza” e “Lavagem/Limpeza + massa líquida” também apresentaram diferenças significativas em relação aos resultados daquelas que empregaram NaOH e/ou ultra-som, e portanto não devem ser contempladas para quantificação da massa de SST.

Ressalta-se que em se tratando de um parâmetro que de fato determinará condições operacionais do processo MBBR, uma vez que indiretamente quantificará a biomassa aderida, que junto à biomassa em suspensão, agirá nos processos de conversão de substratos, a seleção da metodologia que melhor se aplica para sua quantificação deva se proceder mediante cuidadoso critério.

Assim, a avaliação dos resultados da Tabela 5 revela que o maior valor médio foi obtido por meio da metodologia “Hidróxido de Sódio”, o que teoricamente expressa o seu potencial para remoção de uma maior quantidade de sólidos aderidos à peça. Entende-se que a temperatura em que foi realizada a análise permitiu o maior desprendimento da massa aderida e conseqüentemente o maior valor obtido.

É importante destacar que o resultado alcançado por meio da metodologia “Hidróxido de Sódio” a insere no contexto das metodologias usualmente preconizadas para a quantificação de biomassa aderida de reatores MBBR, o qual principalmente contempla o emprego de ultra-som (HELNESS, 2007).

As mesmas observações anteriores relativas à quantificação de SST procedem para o caso de SSV, como demonstra a Tabela 5. De fato, valores significativamente diferentes foram obtidos por meio das metodologias



“Lavagem/Limpeza” e “Lavagem/Limpeza + massa líquida”, devendo ser destacado o maior obtido por meio da metodologia “Hidróxido de Sódio”.

O que ainda deve ser analisado em função dos resultados da Tabela 5 é a relação SSV/SST obtida com base nos valores médios de cada uma das metodologias. Enquanto o valor alcançado por meio da metodologia “Hidróxido de Sódio” foi de 0,65, próximo aos valores médios de 0,53 e 0,59, respectivamente correspondentes a “Ultra-Som” e “Ultra-Som + Hidróxido de Sódio”, obteve-se por meio das metodologias “Lavagem/Limpeza” e “Lavagem/Limpeza + massa líquida” o valor de 0,76.

Estes resultados induzem a compreensão de que os sólidos presentes na camada mais externa do biofilme e mais afastada do contato com o meio suporte e, efetivamente desprendidos e removidos por meio das metodologias “Lavagem/Limpeza” e “Lavagem/Limpeza + massa líquida” eram de natureza, predominantemente, orgânica. Os resultados obtidos encontram na literatura comparados aos de JAHREN *et al.* (2002) e ANDREOTTOLA *et al.* (2003) que alcançaram a relação SSV/SST de, respectivamente, 0,91 e 0,86, muito embora as metodologias empregadas nestes casos não encontrem-se relatadas.

Para efeito de especificação do meio suporte a ser empregado no processo MBBR não é usual relacionar a massa de sólidos aderida em relação à peça (g/peça), como anteriormente discutido, porém em relação a área superficial da peça. Neste sentido, considerando os valores médios de 0,44 gST/peça, determinado por meio da metodologia “ST”, e de 0,26 gSST/peça e 0,17 gSSV/peça, determinados por meio da metodologia “Hidróxido de Sódio”, é possível determinar a “massa de sólidos aderida” por área superficial, em função das concentrações de ST, SST e SSV.

Quando então adotada a “área superficial específica” de 600 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> obteve-se a “massa de sólidos aderida” por área superficial, aqui denominada como Formação de Biomassa Aderida (FBA), em termos de ST, SST e SSV de respectivamente a 40,3 gST/m<sup>2</sup>, 23,8 gSST/m<sup>2</sup> e 15,6 gSSV/m<sup>2</sup>. Estes valores encontram-se referenciados na literatura da seguinte forma: 26 a 44 gST/m<sup>2</sup> (LUOSTARINEN *et al.* 2006); 4 gSST/m<sup>2</sup> (ANDREOTTOLA *et al.* 2003b); 5 gSSV/m<sup>2</sup> (HONG-BIN *et al.* 2007).

Como anteriormente proposto, caso os meios suporte da tecnologia MBBR não fossem especificados em função da “área superficial específica”, porém o fossem com base no potencial de aderência de biomassa (kg/m<sup>3</sup>) que cada um possui, o meio suporte utilizado no presente experimento teria os valores equivalente a 24,2 kgST/m<sup>3</sup>, 14,3 kgSST/m<sup>3</sup> e 9,4 kgSSV/m<sup>3</sup>.

A Tabela 6 indica para as diferentes metodologias de quantificação da massa de sólidos aderida (g/peça), os valores a serem obtidos para o parâmetro FBA em função da aplicação ou não dos conceitos de volume de empolamento e de área superficial de efetiva aderência, conforme anteriormente discutidos. O gráfico da Figura 5 ilustra a variação destes resultados.

**Tabela 6: Formação de Biomassa Aderida (gSSV/m<sup>2</sup>)**

Metodologia	Formação de Biomassa Aderida (gSSV/m <sup>2</sup> )			
	Volume Empolado		Volume Não Empolado	
	Área Superficial		Área Superficial	
	total (635 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	específica (600 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	total (940 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	específica (890 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
1	38,1	40,3	25,7	27,2
2	2,6	2,8	1,8	1,9
3	3,5	3,7	2,3	2,5
4	8,7	9,2	5,9	6,2
5	14,7	15,6	9,9	10,5
6	6,9	7,3	4,7	4,9

1- Metodologia “ST”

2- Metodologia “Lavagem/Limpeza”

3- Metodologia “Lavagem/Limpeza + massa líquida”

4- Metodologia “Ultra-som”

5- Metodologia “Hidróxido de Sódio”

6- Metodologia “Ultra-Som + Hidróxido de Sódio”

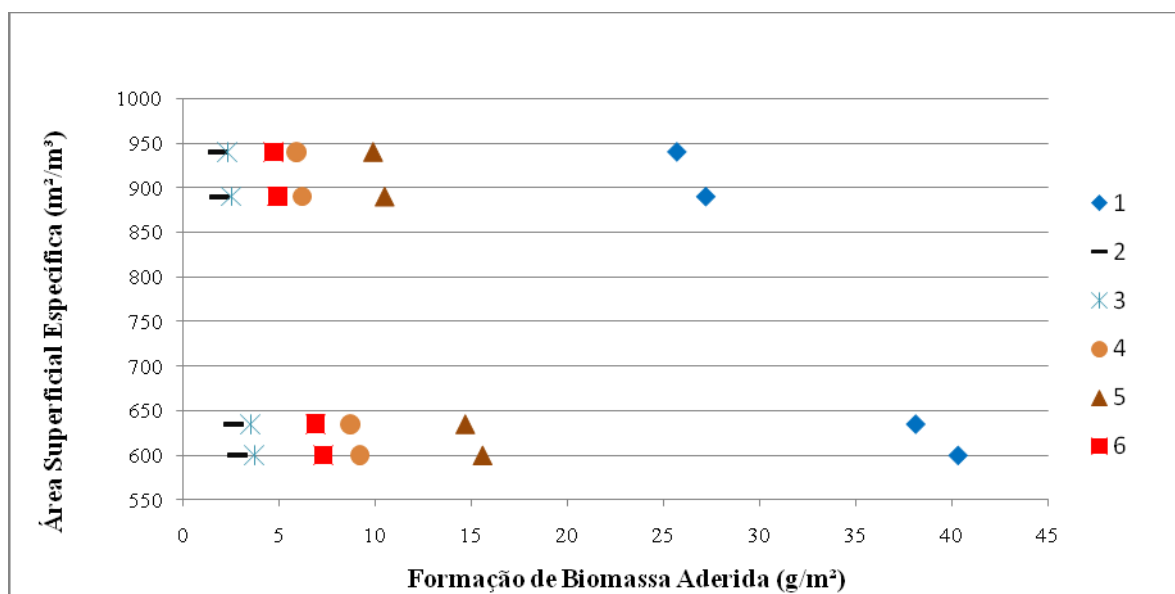


Figura 5: Formação de Biomassa Aderida versus Área superficial Específica

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos apontam para a precaução técnica necessária para fins de dimensionamento do processo MBBR, uma vez que em função da metodologia empregada para a quantificação da massa de sólidos aderida e do uso dos conceitos de empolamento e efetiva aderência de biomassa, diferentes valores relativos a quantidade de biomassa presente no reator MBBR podem ser estimados.

Considerando que o emprego desta tecnologia encontra grande aplicabilidade para ampliação da capacidade de tratamento de ETEs existentes, é fundamental a correta compreensão de conceitos inerentes ao processo e nos quais se baseiam as especificações dos meios suporte ofertados pelo mercado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOTTOLA, G; DAMIANI, E; FOLADORI, P; NARDELLI, P; RAGAZZI, M. (2003). "Treatment of mountain refuge wastewater by fixed and moving bed biofilm systems". Water Science and Technology, Vol 48 (11-12). pp. 169-177.
- ANDREOTTOLA, G; FOLADORI, P; RAGAZZI, M; TATÀNO, F. (2000). "Experimental comparison between MBBR and activated sludge system for the treatment of municipal wastewater". Water Science and Technology, Vol 41 (4-5). pp. 375-382.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. Washington: Public Health Association. 2006.
- CAMMAROTA, M, C. (1998). "Produção de exopolímeros e adesão microbiana". Tese de D.Sc, IQ/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- HELNESS, H. (2007). "Biological Phosphorus Removal in a Moving Bed Biofilm Reactor". Ph.D. Department of Hydraulic and Environmental Engineering – Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norwegian.
- HONG-BIN, Y; XIE, Q, YUN-ZHENG, D. (2007). "Medium-Strength Ammonium Removal Using a Two-Stage Moving Bed Biofilm Reactor System". Environmental Engineering Science. Vol 24 (05) pp 295-601.
- JAHREN, S, J; RINTALA, J, A; ODEGAARD, H. (2002) "Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic conditions". Water Research, Vol 36, pp 1067-1075.
- JORDÃO, E, P & PESSÔA, C. A. (2005). Tratamento de Esgotos Domésticos. 4ª ed. ABES-RJ, 890p.
- JORDÃO, E, P; VOLSCHAN, I, J; MINEGATTI, D, V, O. "A Variante "MBBR" de Lodos Ativados – Uma Alternativa Vantajosa". VI Congresso da IV Região da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária – AIDIS. Buenos Aires, Julho/2007.



10. LUOSTARINEN, S; LUSTE, S; VALENTIN, L; RINTALA, J. (2006) "Nitrogen removal from on-site treated anaerobic effluents using intermittently aerated moving bed biofilm reactors at low temperatures". *Water Research*, Vol 40, pp 1607-1615.
11. METCALF & EDDY (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4rd ed. New Delhi, McGraw-Hill Inc. 1848.
12. MINEGATTI, D, V, O. (2008) "Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de Desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR)". Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
13. MINEGATTI, D, V, O; VOLSCHAN, I, J; JORDÃO, E, P. "Comportamento e Desempenho do Processo Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR) para a Remoção da Matéria Orgânica e Compostos Nitrogenados". XXXI Congresso Interamericano da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS). Santiago, Chile, Outubro/2008.
14. ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; WESTRUM, T. (1994) "A new moving bed biofilm reactor – application and results". *Water Science and Technology*. Vol. 29 (10-11), pp. 157-165.
15. ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; BADIN, H (1993) "Small wastewater treatment plants based on moving bed biofilm reactor". *Water Science and Technology*. Vol. 28 (10), pp. 351-359.
16. PASTORELLI, G; ANDREOTTOLA, G; CANZIANI, R; DARRIULAT, C; FRAJA FRANGIPANE, E; ROZZI, A. (1997) "Organic carbon and nitrogen removal in moving-bed biofilm reactors". *Water Science and Technology*. Vol. 35 (6), pp. 91-99.
17. RUSTEN, B; MCCOY, M; PROCTOR, R; SILJUDALEN, JON G. (1998) "The innovative moving bed biofilm reactor/Solids contact reaeration process for secondary treatment of municipal wastewater". *Water Environment Research*, Vol 70 (5), pp 1083-1089.
18. RUSTEN, B; SILJUDALEN, J, G; Nordeidet, B. (1994) "Upgrading to nitrogen removal with the KMT moving bed biofilm process". *Water Science and Technology*, Vol 29 (12), pp 185-195.