

II-249 – FERRAMENTAS PARA IDENTIFICAÇÃO DA PREDOMINÂNCIA DE ORGANISMOS ACUMULADORES DE FÓSFORO (PAO) EM SISTEMAS DE LODO ATIVADO

Rosilene Maria Leitão Melquiades⁽¹⁾

Discente de graduação em Saneamento Ambiental – IFCE- Campus Limoeiro do Norte - Ceará. Bolsista de Iniciação Científica do CNPq/IFCE.

Elivânia V. M. Santos⁽²⁾

Doutora em Engenharia Ambiental - UEPB, Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Limoeiro do Norte - CE.

Heraldo A. S. Filho⁽³⁾

Doutor em Engenharia Ambiental - UEPB, Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Limoeiro do Norte - CE.

Adrianus C. Van Haandel⁽⁴⁾

Doutor em Engenharia Civil – UCT – África do Sul, Docente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - PB.

José T. Sousa⁽⁵⁾

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento – EESC, Docente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - PB.

Endereço⁽¹⁾: Av. Manoel Fidélis Maia,1647. Limoeiro do Norte - Ceará. CEP: 62930-000 - Brasil - Tel: (88) 99940-1879 - e-mail: rosilene.melquiades@hotmail.com

RESUMO

A busca por estudos sobre a remoção biológica de fósforo em águas residuárias tem se expandido e favorecido um maior conhecimento dos grupos envolvidos nesse processo. Contudo a concepção de sistemas de remoção desse nutriente ainda necessita de novos estudos que o auxilie a uma consolidação de técnicas consideradas de baixo custo, porém eficazes.

Para isso, operaram-se sistemas de lodo ativado com diferentes estratégias para estimular não apenas a predominância de PAO em alguns desses sistemas, mas também predominância de outros grupos bacterianos em outros sistemas. Estes outros grupos eram: acumuladores de glicogênio (GAO) e heterotróficos comuns (OHO), bem como populações mistas. Cinco ferramentas baseadas em análises físico-químicas e respirométricas foram testadas para avaliar o domínio de diferentes populações com base em relações cinéticas e estequiométricas. Estas poderão ser utilizadas para concepção de projetos mais racionais e otimizados ou outras aplicações biotecnológicas. A estratégia predominante de PAO foi obtida sob condições de temperatura média de 25°C, e desnitrificação via nitrito usando propionato como substrato. A partir dos dados obtidos construiu-se uma matriz de predominância de PAO, utilizando também lodos mistos, OHO e GAO comparativamente.

PALAVRAS-CHAVE: Remoção biológica, fósforo, predominância de PAO.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem havido uma intensificação dos estudos sobre a remoção biológica de fósforo em águas residuárias e, conseqüentemente, o conhecimento dos grupos microbianos envolvidos neste processo tem aumentado. Isso foi possível devido à disponibilidade de diferentes técnicas laboratoriais para identificação e quantificação, muitas vezes associadas à biologia molecular e outras análises igualmente avançadas.

Entretanto, dentro da engenharia sanitária, a identificação de espécies desses organismos, apesar de sua inegável importância, não é suficiente para a concepção de sistemas de remoção de fósforo, e determinar parâmetros operacionais, sendo necessário que outras técnicas, a exemplo da respirometria, sejam aplicadas de forma combinada, conseguindo atingir um grau mais amplo de conhecimento da microbiologia do lodo do sistema de tratamento. Além disso, há falta de disponibilidade de equipamentos e mão-de-obra especializada para técnicas avançadas, o que resulta em limitada aplicabilidade em curto prazo, em países como o Brasil.

Portanto, a possibilidade de identificar a predominância de organismos acumuladores de fósforo (PAO), por meio de testes simples e de baixo custo, é bastante atrativa.

Em sistemas de lodo ativado, diferentes comunidades microbianas crescem de forma suspensa formando flocos dispersos ou grânulos autoimobilizados capazes de efetuar as conversões bioquímicas envolvidas nos processos de remoção de nutrientes, podendo-se destacar os organismos nitrificantes, heterotróficos ordinários (OHO), acumuladores de fósforo (PAO) e acumuladores de glicogênio (GAO). Os organismos acumuladores de fósforo, *Polyphosphate Accumulating Organisms*, PAO, conformados ou não em grânulos, têm alto poder de liberar fosfato em ambiente anaeróbio ao capturar e armazenar material orgânico solúvel do meio na forma de biopolímeros. Além disso, são capazes de recuperar polifosfatos liberados em ambiente aeróbio perfazendo a condição fenotípica oriunda da alternância de ambientes que provoca uma modificação ou adaptação metabólica desses microrganismos (DE KREUK; VAN LOOSDRECHT, 2005).

Bassin (2012) e Taya et al. (2013) afirmam que existem dois subgrupos de PAO (PAO I que utiliza nitrato e nitrito como aceptor de elétrons para a degradação da matéria orgânica e, PAO II que utiliza somente nitrito). Estes microrganismos também podem ser denominados de DPAO (*Denitrifying Phosphorus Accumulating Organisms*) I e II, respectivamente, e estudos indicam a possibilidade de apresentarem capacidade metabólica superior às PAO em condições aeróbias. Entretanto, ainda não há consenso se são bactérias facultativas ou estritas. O grupo DPAO atua no processo de remoção de material orgânico de forma especial, pois remove simultaneamente nitrogênio e fósforo e é capaz de reduzir custos com aeração e demanda por matéria orgânica que é acumulada em ambiente anaeróbio para ser metabolizada na etapa anóxica (BECK, 2011). Esses microrganismos crescem em diferentes condições com destaque à parte interna de lodo granular aeróbio, podendo coexistir diferentes grupos bacterianos e significativa diversidade microbiana em uma mesma matriz (BASSIN et al. 2012).

No entanto, há um tipo de bactéria que compete com PAO, que são as bactérias acumuladoras de glicogênio (GAO). Esses grupos demandam o mesmo material orgânico solúvel disponível em ambiente anaeróbio para PAO, porém não removem fósforo, sendo alguns subtipos apenas capazes de desnitrificar (LOPEZ-VÁZQUEZ et al., 2009).

Os estudos de Taya et al. (2013) mostraram, por meio de biologia molecular, que o nitrito não pode ser utilizado como aceptor final de elétrons por GAO quando o substrato solúvel disponível no meio líquido é o propionato, dessa forma não há desnitrificação via nitrito a partir de propionato, o que indica que o tipo de substrato influencia no processo. Isso é afirmado porque nesse estudo não foi identificado nenhum grupo GAO capaz de desnitrificar via nitrito sob estas condições, pois não apresentavam a enzima nitrito redutase.

Alguns pesquisadores notaram que o tipo de substrato é um fator significativo na competição entre PAO e GAO (OHEMEN, 2005; TAYA, et al. 2013). Os estudos de Ohemen et al. (2006; 2007; 2010) constataram que a alternância de substrato na fase de alimentação (anaeróbia), pode resultar em um novo mecanismo de minimização de bactérias competidoras pelo substrato solúvel. Isso ocorre, pois há um grupo GAO que utiliza apenas acetato como fonte de carbono (*Candidatus Competibacter Phosphatis*), e outro que utiliza propionato para o mesmo fim (*Alphaproteobacteria*), ao passo que PAO tem a mesma afinidade para ambos os substratos.

Oehmen et al. (2006) conseguiu de forma inédita um lodo com mais de 90% de predominância de PAO em estudos com alternância de substratos. Ressalta-se que as bactérias PAO por não terem preferência por nenhum desses substratos (segundo os autores), apresentam rápida substituição de um pelo outro, bastando para tanto, que uma fonte seja disponibilizada enquanto a outra não, sem influenciar negativamente no seu metabolismo, diferentemente do que possivelmente ocorra com GAO.

Outra configuração promotora dessa predominância é voltada para a remoção de fósforo a partir de lodo granular aeróbio, com base nos principais parâmetros referenciados na literatura internacional especializada (MORGENROTH et al. 1997; BEUN et al. 2002; LIU; TAY, 2004; DE KREUK; HEIJNEN; VAN LOOSDRECHT, 2005; WINKLER et al. 2011; BASSIN, 2012).

Dentre os principais parâmetros que precisam ser controlados nesse tipo de sistema destacam-se: o tempo maior para a alimentação anaeróbia com baixa turbulência (alimentação lenta e ascensional em pistão), respeito ao regime de fartura e ausência de substrato, fartura/fome (*feast/famine*), tempo de sedimentação

curto, bem como aeração e mistura suficientemente capazes de provocar choque entre partículas com forças de cisalhamento bem definidas e constantes durante o período de aeração (VAN LOOSDRECHT et al. 2011).

A estratégia de predominância de PAO por meio de estratificação de lodo granular foi citada por Winkler et al. (2011) e Bassin (2012) como benéfica para o processo de granulação e principalmente para remoção de fósforo, visto que de acordo com seus estudos, GAO tende a permanecer no topo do reator, pois tem densidade menor que as PAO devido ao acúmulo que estas últimas tem de polifosfatos em sua constituição celular.

Por outro lado, para gerar a biomassa descrita na literatura como principal atuante na deterioração da remoção de fósforo em sistemas de lodo ativado (EBPR) a mesma condição operacional deve ser atendida, todavia sem a biodisponibilidade de fosfato no meio líquido. Essa biomassa, como anteriormente mencionado, conhecida por *Candidatus Competibacter*, é pertencente ao fenótipo GAO e utiliza acetato como fonte de carbono (PISCO, 2008). O grupo *Alphaproteobacteria* também responderia similarmente a esta estratégia operacional, contudo, utilizando propionato.

A essência da compreensão acerca da remoção de fósforo de águas residuárias encontra-se na elucidação do metabolismo dos organismos envolvidos no processo.

OBJETIVO

No intuito de avançar na compreensão e aplicação de sistemas de tratamento de esgotos com remoção de nutrientes, pretendeu-se realizar um estudo cinético e estequiométrico através da utilização de cinco (5) ferramentas de baixo custo, aliadas à respirometria, para a identificação da predominância de organismos acumuladores de fósforo (PAO) em sistemas de lodo ativado com diferença na fração ativa de bactérias PAO presentes em nove (9) diferentes lodos. Estas ferramentas poderão ser utilizadas para concepção de projetos mais racionais e otimizados ou em outras aplicações biotecnológicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sistemas Experimentais

Foram operados 9 sistemas de lodo ativado, cada um com características operacionais distintas, uniformizando apenas natureza do esgoto e determinados objetivos de tratamento. Isto porque, o intuito era a geração de lodos distintos, com diferença na concentração e predominância de bactérias acumuladoras de fósforo, para que as ferramentas pudessem ser testadas, e não a comparação entre sistemas.

Desta forma, 4 sistemas em bateladas sequenciais (RBS) tinham o propósito exclusivo de remover fósforo com estratégias bem definidas para tal fim (R1A anaeróbio-aeróbio com esgoto sanitário suplementado de acetato, R1B anaeróbio-aeróbio com lodo granular e alimentado com esgoto sanitário suplementado de acetato, R1C anaeróbio-anóxico via nitrato com esgoto sintético alternando os substratos entre acetato e propionato, e R1D anaeróbio-anóxico via nitrito somente com propionato como substrato), 1 sistema RBS tinha como meta submeter condições favoráveis à predominância de organismos acumuladores de glicogênio, GAO (R2) e, em 1 outro sistema RBS pretendia-se o enriquecimento de organismos heterotróficos ordinários, OHO (R3).

Outros 3 sistemas foram operados para que lodos mistos contendo diferentes grupos microbianos fossem estabelecidos. Dentre os sistemas mistos, 1 era RBS tipo coluna de bolhas (R4A), 1 outro RBS continha duas câmaras dedicadas uma para a nitrificação e outra desnitrificação, *air lift* (R4B) e 1 terceiro, era de fluxo contínuo (R4C), do tipo *University of Cape Town* (UCT).

Destaca-se que a nitrificação não foi favorecida nos sistemas PAO, GAO e OHO, devido à idade de lodo curta (5 dias) e da adição de alil-tioureia (ATU) para uma concentração final de aproximadamente 10 mg.L⁻¹. Enquanto nos sistemas de lodo misto a idade de lodo era de 20 dias e sem inibidor, justamente para que houvesse nitrificação. A composição dos esgotos sintéticos dos sistemas foi baseada em Smolders (1995) e Ohemen et al. (2006).

O oxigênio dissolvido dos sistemas com etapas aeróbias era em torno de $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e o nitrato e nitrito afluentes nas etapas anóxicas dos sistemas R1C e R1D era de 60 mg.L^{-1} . O pH era corrigido quando necessário e mantido em 7,5, enquanto a temperatura média era de 25°C em todos os sistemas.

Na tabela 1 mostram-se os ciclos operacionais de cada sistema em que se pode notar determinada variedade nos tempos, em especial devido ao estabelecimento de diferentes estratégias, que poderiam ou não representar similaridade entre si.

Tabela 1: Tempos referentes a cada ciclo operacional dos sistemas com predominância de PAO, GAO e lodos mistos.

Sistemas	Tempo de alimentação	Fase anaeróbia - hidrólise	Fase Aeróbia	Entrada de nitrito	Fase anóxica com NO_2^-	Tempo de sedimentação	Descarte de efluente tratado
R1A e R2	2 min	90 min	247 min	-	-	20 min	1 min
R1B	137 min		215 min	-	-	5 min	3 min
R1C	11 min	130 min	178 min	-	-	40 min	1 min
R1D	4 seg	130 min	-	4 seg	178 min	40 min	-
R4A e R4B	1 min (o mesmo do descarte de efluente tratado)	40 min	230 min	-	-	20 min	1 min (o mesmo da alimentação)

Cada sistema PAO tinha uma estratégia de predominância de PAO associada à sua configuração. Na tabela 2 apresenta-se um conjunto resumido dos dados adotados para cada estratégia operacional no intuito de obter essa predominância, bem como se descreve a composição da água residuária afluente aos sistemas.

Tabela 2: Estratégias, sistemas e condições operacionais dos sistemas com predominância de PAO.

Dados Gerais dos Sistemas				Aspectos operacionais	
Tipos	Sistema	Estratégias para predominância de PAO	Tipo de Esgoto	Volume útil	Volume Tratado
Lodo PAO	R1A	Alternância de ambientes anaeróbio-aeróbio; acetato como fonte de carbono	Matriz composta de efluente tratado em sistema UCT acrescido de acetato e nutrientes	15 L	47%
	R1B	Alternância de ambientes anaeróbio-aeróbio; esgoto bruto e acetato como fontes de carbono; alta relação altura-diâmetro; descarte de lodo no topo do reator	Matriz composta de esgoto sanitário fraco acrescido de acetato e nutrientes	14 L	56%
	R1C	Alternância de ambientes anaeróbio-aeróbio; acetato e propionato como fontes de carbono	Matriz composta de efluente tratado em sistema UCT acrescido de acetato em alternância semanal com propionato	4 L	55%
	R1D	Alternância de ambientes anaeróbio-anóxico com nitrito; propionato como fonte de carbono	Matriz composta de efluente tratado em sistema UCT acrescido de propionato	3 L	55%
Lodo GAO	R2	Alternância de ambientes anaeróbio-aeróbio; acetato como fonte de carbono; baixa concentração de fosfatos	Matriz composta de efluente tratado em sistema UCT acrescido de acetato e nutrientes, com exceção de fosfatos	15 L	55%
Lodo OHO	R3	Fluxo de entrada de esgoto contínuo; acetato como fonte de carbono	Matriz composta de efluente tratado em sistema UCT acrescido de acetato e nutrientes	15 L	3 L.d ⁻¹
Lodo misto	R4A	Alternância de ambientes anaeróbio-aeróbio; entrada de esgoto rápida, ascendente e saída de efluente tratado de forma simultânea; DQO de esgoto sanitário como fonte de carbono	Matriz composta de esgoto sanitário fraco acrescido de acetato e nutrientes	15 L	47%
	R4B	Alternância de ambientes anaeróbio-aeróbio em uma câmara (1) e, outra câmara (2) continuamente sem aeração se tornando anóxica mediante produção de nitritos e nitratos na câmara 1, quando em período aeróbio; entrada de esgoto rápida, ascendente e saída de efluente tratado de forma simultânea pelas duas câmaras de forma proporcional; DQO de esgoto sanitário fraco acrescido de acetato como fonte de carbono	Matriz composta de esgoto sanitário fraco acrescido de acetato e nutrientes	30 L	47%
	R4C	Fluxo de entrada de esgoto contínuo; Sistema UCT; DQO de esgoto sanitário fraco acrescido de acetato como fonte de carbono	Matriz composta de esgoto sanitário fraco acrescido de acetato e nutrientes	244 L	300 L.d ⁻¹

Foram realizados testes respirométricos a partir do respirômetro semi-contínuo Beluga, S42c para determinação da taxa de consumo de oxigênio (TCO) em experimentos em lotes (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999). Para execução dos testes respirométricos, foram utilizados dois substratos: acetato de sódio tri-hidratado ($\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) e propionato de cálcio ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CaO}_4$). Ambos os substratos foram escolhidos pela íntima relação que apresentam com o metabolismo de PAO e grupos específicos de GAO. Esses testes foram realizados com o lodo retirado no fim da aeração dos sistemas em batelada e nos tanques aeróbios dos sistemas contínuos.

Em cada teste respirométrico realizado, a mesma concentração em termos de DQO era utilizada para cada substrato (em torno de 240 mg.L^{-1}). Os dados eram sempre obtidos a partir do primeiro pulso adicionado (para melhor representar o regime *feast-famine* do sistema). Avalia-se que um dos fundamentos desse trabalho foi comprovar que haveria uma boa correlação de técnicas simplificadas de determinação dessa predominância (LOPEZ-VAZQUEZ, 2009) com a confiabilidade de um teste mais sofisticado, entretanto não tão oneroso e

até mesmo impraticável para uma grande parte de estudos, em especial no Brasil. As opções utilizadas com esse propósito foram denominadas de ferramentas, sendo subdivididas em F1, F2, F3, F4 e F5 (Figura 1). A predominância de PAO seria identificada caso as ferramentas sinalizassem sempre positivas para determinado tipo de lodo. Em contrapartida, lodos com predominância de outros grupos deveriam apresentar-se negativos às expectativas.

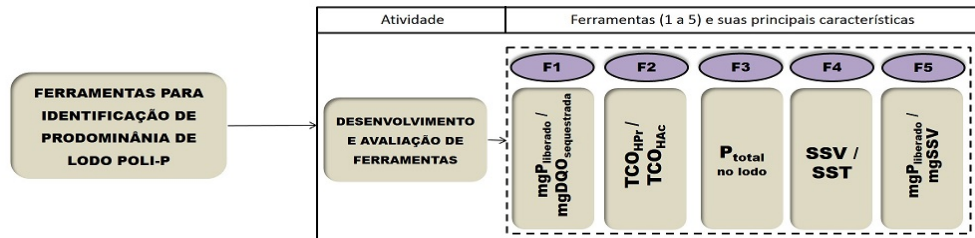


Figura 1: Esquema representativo das ferramentas de identificação da predominância de PAOs nos sistemas operados.

Análises físico-químicas tanto para acompanhamento do desempenho (DQO, ortofosfato solúvel) quanto das ferramentas de identificação de predominância de PAO (concentração de sólidos em suspensão do licor misto, fósforo total do lodo), foram realizadas de acordo com APHA et al. (2012).

RESULTADOS

Na figura 2 encontram-se os dados obtidos da relação $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{acumulada}}$ (F1), para os lodos dos sistemas operados. A liberação de fósforo (valor em mg.L^{-1}) é dependente diretamente da concentração de microrganismos traduzida em SSV (X_v).

O resumo dos dados obtidos da relação HPr/HAc (F2) em diferentes testes respirométricos encontra-se na figura 3. As relações máximas obtidas foram de 80 e 82% para R1C e R1D e mínimas de 10% para R3. O lodo misto do sistema contínuo apresentou relação bastante elevada, podendo significar que no esgoto bruto a presença não controlada dos dois tipos de substratos tenha favorecido todo tipo de grupo microbiano desde GAO a PAO.

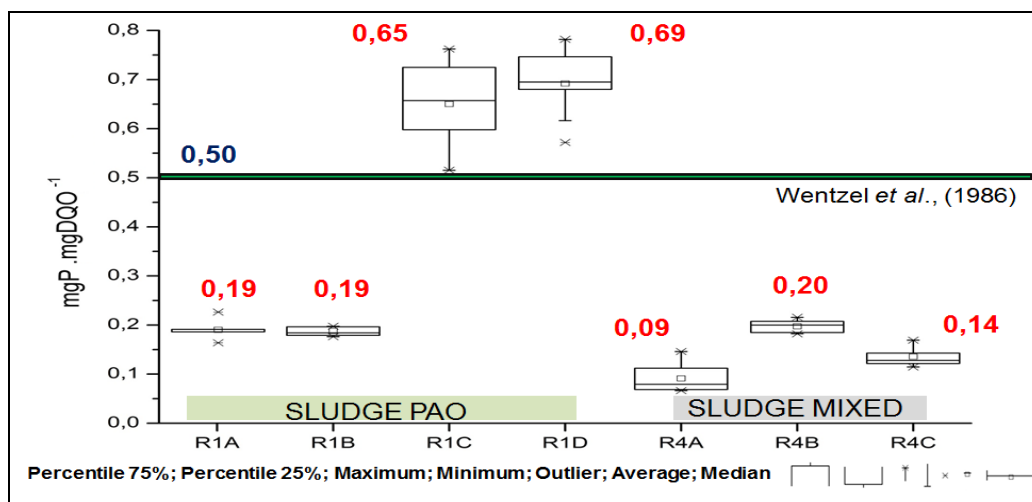


Figura 2: Dados dos sistemas referentes à relação de $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{acumulada}}$ (F1).

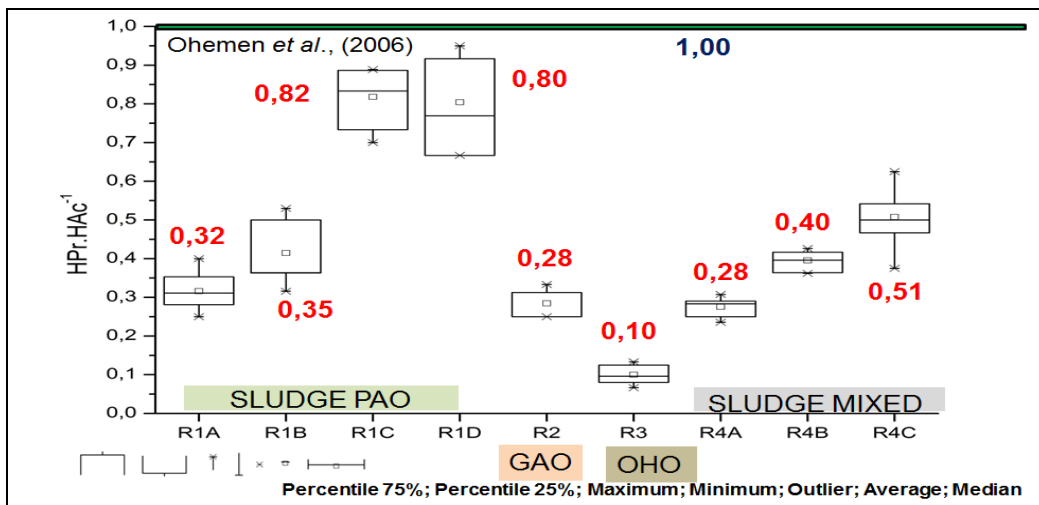


Figura 3: Relações HPr/HAc (F2) de todos os sistemas operados em fases comparativas.

Observando a figura 4 vê-se que alguns dados corroboram com a análise de Mota; Von Sperling (2009) e que, para os sistemas que até então se mostraram mais evidentemente predominantes de PAO, a média relação $\text{mgP}_{\text{lodo}}/\text{mgSSV}$ foi de 0,19 $\text{mgP}_{\text{lodo}}/\text{mgSSV}$ e 0,28 $\text{mgP}_{\text{lodo}}/\text{mgSSV}$, respectivamente para os sistemas R1C e R1D.

A figura 5 mostra a relação $\text{mgSSV}/\text{mgSST}$ (F4) onde somente os sistemas R1C e R1D demonstraram significativa percentual quando considerado a razão de 46 % citado por Van Haandel; Marais (1999) com valores de 0,41 $\text{mgSSV}/\text{mgSST}$ e 0,32 $\text{mgSSV}/\text{mgSST}$, respectivamente.

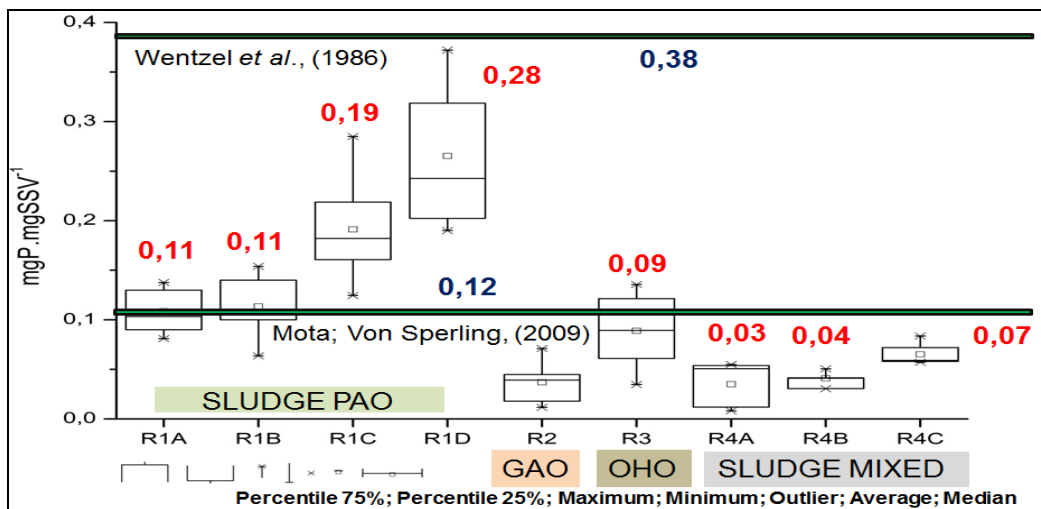


Figura 4: Relações $\text{mgP}_{\text{lodo}}/\text{mgSSV}$ (F3) dos sistemas.

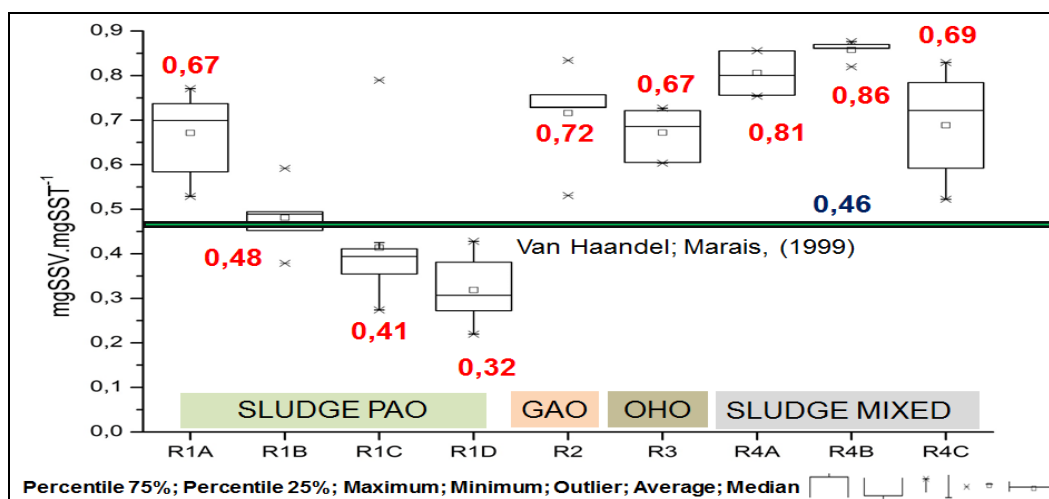


Figura 5: Relações mgSSV/mgSST (F4) dos sistemas.

Para uma melhor compreensão dos resultados, na tabela 3 encontram-se os dados referentes a todas as ferramentas ($\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{acumulada}}$; $\text{TCO}_{\text{HPr}}/\text{TCO}_{\text{HAc}}$; P_{lodo} ; SSV/SST e $\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgSSV}$) estudadas no lodo.

Tabela 3: Resumo de dados obtidos com base nas ferramentas de identificação de predominância de organismos acumuladores de fósforo.

Sistemas	$\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgDQO}_{\text{acumulada}}$	$\text{TCO}_{\text{HPr}}/\text{TCO}_{\text{HAc}}$	P_{lodo}	SSV/SST	$\text{mgP}_{\text{liberado}}/\text{mgSSV}$
R1A	0,19	0,32	0,11	0,67	0,014
R1B	0,19	0,35	0,11	0,48	0,037
R1C	0,65	0,82	0,19	0,41	0,044
R1D	0,69	0,8	0,28	0,32	0,052
R2	-	0,28	0,04	0,72	-
R3	-	0,1	0,09	0,67	-
R4A	0,09	0,28	0,03	0,81	0,008
R4B	0,20	0,4	0,04	0,86	0,017
R4C	0,14	0,51	0,07	0,69	0,011
Valor Ideal Obtido	0,69	0,82	0,28	0,32	0,052

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observando esses dados percebe-se que o sistema que apresentou menor relação para ferramenta (F1) foi o R4A, coluna de bolhas, que possivelmente teve interferência do nitrato já que não havia local ou período para a desnitrificação. Já o sistema R4B, *air lift*, com câmaras dedicadas para cada processo bioquímico (nitrificação e desnitrificação) apresentou melhores relações que R4A, pois a remoção de fósforo era simultânea e quando acabava o nitrato produzido, ocorria liberação de fósforo.

Entretanto, há um valor de referência em 0,5 mgP/mgDQO obtido para culturas consideradas puras por diferentes autores a exemplo de Wentzel et al. (1989), Henze et al. (1999) e Van Haandel; Van der Lubbe (2012). Mota; Von Sperling (2009) obteve para as condições similares às dessa pesquisa, por se tratar de um trabalho realizado também na cidade de Campina Grande, 0,26 mgP/mgDQO e 0,31 mgP/mgDQO para um sistema UCT e outro RBS, respectivamente. Dentre os sistemas testados nesta pesquisa, obtiveram-se resultados superiores à média dos trabalhos correlacionados supracitados, tendo os sistemas R1C e R1D atingido 0,65 e 0,69, respectivamente, como valores para essa relação de fósforo liberado por DQO acumulada na zona anaeróbia.

Quanto à relação de $\text{TCO}_{\text{HPr}}/\text{TCO}_{\text{HAc}}$ (F2), as máximas obtidas foram de 80 e 82%, também para os sistemas R1C e R1D, e mínimas de 10% para R3. É importante destacar ainda que o lodo misto do sistema contínuo apresentou relação bastante elevada (até 51%), podendo significar que no esgoto bruto a presença não

controlada dos dois tipos de substratos tenha favorecido diferentes grupos microbianos desde GAOs a PAOs. De acordo com Ohemen et al. (2006), essa relação deve fechar em 1 para ter-se a expressiva predominância de PAOs no lodo.

Analisando (F3), Van Haandel e Marais (1999) citam que um valor para essa relação de 0,38 é indicativa de lodo puro (PAO). Entretanto, é válido ressaltar que, de acordo com algumas pesquisas mais recentes, identificou-se que uma boa remoção de fósforo (acima de 90%) é atingida com o lodo misto que apresenta essa relação em torno de 0,12 (NÓBREGA, 2009; VAN HAANDEL E VAN DER LUBBE, 2012).

A partir da análise da ferramenta (F4), observa-se que inclusive os lodos mistos obtiveram médias entre 60 e 70%. Somente os sistemas RIC e RID demonstraram significativa redução desse percentual com valores de 0,41 mgSSV/mgSST e 0,32 mgSSV/mgSST, respectivamente, 41 e 32%. De acordo com Van Haandel e Marais (1999) o lodo com predominância de bactérias poli-P apresenta para essa relação de mgSSV/mgSST valor em torno de 46%.

Os sistemas que melhor desempenharam predominância de acordo com (F5) também foram RIC (0,044 mgP_{liberado}/mgSSV) e RID (0,052 mgP_{liberado}/mgSSV). Já o sistema R1B apresentou relação de 0,037 mgP_{liberado}/mgSSV, valor que também representa predominância significativa com base nessa ferramenta. De acordo com Bassin (2012) valores acima de 0,01 mgP_{liberado}/mgSSV já podem ser considerados significativos quanto à densidade de organismos acumuladores de PAOs no lodo. O autor analisou essa predominância mediante identificação por técnicas biomoleculares.

CONCLUSÕES

Foi possível distinguir os grupos microbianos GAO e OHO nos respectivos sistemas operacionais (R2 e R3), bem como, identificar um destaque da predominância de PAO no sistema anaeróbio-anóxico via nitrito (RID), a partir das ferramentas propostas. Essas ferramentas mostraram-se promissores meios de identificação de predominância de PAO podendo ser direcionadas a outras aplicações e utilizadas em sinergia com a biologia molecular ou de forma isolada.

Uma matriz de classificação de predominância de PAO foi desenvolvida com base nessas ferramentas tendo obtido destaque os sistemas alimentados com substrato à base de propionato (RIC e RID), enquanto o lodo dos sistemas RBS de descarte de lodo no topo (granular) e câmaras dedicadas (R1B e R4B) apresentaram-se logo abaixo destes na escala de predominância adotada. Os dados experimentais obtidos poderão servir de modelo para estimativas de valores característicos de predominância de PAO em outros estudos, que da mesma forma dessa proposta, não dispõem de recursos e logística adequada para o uso de técnicas mais sofisticadas e onerosas.

A respirometria aliada às análises físico-químicas simples são perfeitamente indicadas para estudos de avaliação quantitativa e até qualitativa de lodos acumuladores de fósforo, ou comparativamente aos demais tipos, podendo ser aplicados tanto para projetos quanto para operação de sistemas de tratamento de águas residuárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC, 22th ed. 2012.
2. BASSIN, J. P. Remoção biológica de nutrientes em sistemas compactos e estudo da diversidade microbiana por técnicas de biologia molecular. Tese (Doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Química, 2012. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012. 209 p.
3. DE KREUK, M. K.; HEIJNEN, J. J.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Simultaneous COD, nitrogen and phosphate removal by aerobic granular sludge. *Biotechnology and Bioengineering*. v. 90, pp. 761-769. 2005.
4. HENZE, M.; GUJER, W.; MINO, T.; MATSUO, T.; WENTZEL, M. C.; MARAIS, G. V. R.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Activated Sludge Model N^o. 2, ASM 2D. *Water Science and Technology*. 39 (1): pp. 165-182. 1999.

5. LOPEZ-VAZQUEZ, C. M.; OEHMEN, A.; HOOIJMANS, C. M.; BRDJANOVIC, D.; GIJZEN, H. J.; YUAN, Z. G.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Modeling the PAO-GAO competition: effects of carbon source, pH and temperature. *Water Research* 43 (2): pp. 450-462. IF: 4.655, CN: 65. 2009.
6. MOTA, F. S.; VON SPERLING, M. (Coordenadores). *Nutrientes de Esgoto Sanitário: Utilização e Remoção*. Projeto PROSAB. Edital 5, Tema 2. Rio de Janeiro, RJ. ABES, 2009.
7. NÓBREGA, E. O. Estequiometria e cinética da remoção de fósforo em sistemas de lodo ativado. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
8. OEHMEN, A., ZENG, R.J., SAUNDERS, M.A., BLACKALL, L.L., KELLER, J., YUAN, Z., Anaerobic and aerobic metabolism of glycogen-accumulating organisms selected with propionate as the sole carbon source. *Microbiology*, 152, 2767-2778. 2006.
9. SMOLDERS, G. J. F.; VAN DER MEIJ, J.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; HEIJNEN, J. J. A structured metabolic model for anaerobic and aerobic stoichiometry and kinetics of the biological phosphorus removal process. *Biotechnol. Bioeng.* 47, pp. 277-287. 1995.
10. VAN HAANDEL, A. C.; VAN DER LUBBE, J. *Handbook biological waste water treatment: design and optimization of activated sludge systems*. 2. ed. Londres – UK: IWA Publishing of Alliance House, 816 p. 2012.
11. VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. V. R. *O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações*. Campina Grande: Epgraf, 1999.
12. WINKLER, M. K. H.; BASSIN, J. P.; KLEEREBEZEM, R.; DE BRUIN, L. M. M.; VAN DEN BRAND, T. P. H.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Selective sludge removal in a segregated aerobic granular biomass system as a strategy to control PAO-GAO competition at high temperatures, *Water Research*. v. 45, pp. 3291-3299. 2011.