

INFLUÊNCIA DA ALTURA DO MEIO SUPORTE NA EFICIÊNCIA DE UM FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR UTILIZADO PARA O PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM REATOR UASB

**Marco Túlio Rocha Porto, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo⁽¹⁾,
Patrícia Procópio Pontes e Deneb O. Bejar**

⁽¹⁾Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Av. Contorno 842/701 - 30110-060 - Belo Horizonte – MG, E-mail: calemos@desa.ufmg.br

RESUMO

O presente trabalho buscou avaliar a influência da altura do meio suporte na eficiência de um filtro biológico percolador (FBP) utilizado como unidade de pós-tratamento dos efluentes de um reator UASB. A pesquisa foi desenvolvida em três fases distintas, nas quais o FBP foi operado com diferentes alturas do compartimento de reação de 0,85 m (fase 1), 1,50 m (fase 2) e 1,90 m (fase 3). O reator UASB possuía volume de 416 litros, sendo operado com tempo de detenção hidráulica médio de 4 horas. O sistema UASB/FBP foi alimentado com esgoto doméstico, bombeado diretamente do interceptor do ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte – MG. Os resultados obtidos indicaram elevadas eficiências de remoção complementar de matéria orgânica e baixas concentrações de DQO, DBO e SST no efluente final, confirmando que os filtros biológicos percoladores constituem uma alternativa viável e bastante promissora para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Todavia, os resultados obtidos não possibilitaram distinguir uma tendência clara de melhoria da eficiência com o aumento da camada suporte, mesmo porque outros fatores, como temperatura e ventilação natural do compartimento de reação, podem ter afetado o funcionamento do FBP entre uma fase e outra. Entretanto, foi possível inferir que o aumento da altura do meio suporte conferiu uma maior estabilidade operacional ao FBP, que passou a produzir um efluente com menores amplitudes de variação das concentrações de DQO, DBO e SST.

PALAVRAS CHAVE

Esgoto sanitário, filtro biológico percolador, meio suporte, pós-tratamento, reator UASB

INTRODUÇÃO

Os estudos acerca de filtros biológicos percoladores, para o tratamento de águas residuárias, são abrangentes e vastos, sendo facilmente encontrados na literatura técnica específica. No entanto, a utilização de filtros biológicos percoladores, como unidades de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, encontra-se em fase inicial de pesquisa, sendo que a

produção de dados e parâmetros para seu dimensionamento e operação são relativamente recentes e, de certa forma, ainda incipientes.

Atualmente, existe uma tendência clara no Brasil de utilização de sistemas anaeróbios como primeira etapa do tratamento de águas residuárias, decorrentes das grandes vantagens inerentes a estes sistemas. Em que pese suas grandes vantagens, os reatores anaeróbios têm dificuldades em produzir um efluente que atenda aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. Torna-se de grande importância, portanto, o pós-tratamento dos efluentes dos reatores anaeróbios, como uma forma de adequar o efluente tratado aos requisitos da legislação ambiental e propiciar a proteção dos corpos d'água receptores dos lançamentos dos esgotos (CHERNICHARO, 1997; CHERNICHARO, 2000).

Com o objetivo de fornecer respostas tecnicamente viáveis é que vem-se estudando os filtros biológicos percoladores (FBP) como unidades de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, conforme reportado por NASCIMENTO et al. (2000) e CHERNICHARO & NASCIMENTO (2000). Estes autores atestam que os FBP podem promover uma importante remoção adicional de DQO e DBO, além de produzir um efluente com baixos teores de SST.

Na presente pesquisa, teve-se como objetivo a continuidade dos estudos desenvolvidos por CHERNICHARO & NASCIMENTO (2000), buscando-se avaliar, desta feita, a influência da altura de meio suporte na eficiência de um FBP, utilizado como unidade de pós-tratamento dos efluentes gerados em um reator UASB.

MATERIAL E MÉTODOS

Alimentação da planta piloto

Os experimentos foram desenvolvidos no Laboratório de Instalações Piloto – LIP do DESA/UFG. O suprimento de esgoto para o laboratório foi feito a partir do interceptor da margem direita do Ribeirão Arrudas, utilizando-se uma bomba submersível para o recalque dos esgotos. Antes de alimentar o sistema UASB/FBP, os esgotos passavam pelas unidades de tratamento preliminar (cesto perfurado e caixa de areia) e por um tanque de acumulação/distribuição. A partir deste tanque, uma bomba peristáltica promovia a alimentação do reator UASB, sendo o efluente deste reator encaminhado para o FBP (ver Figura 1).

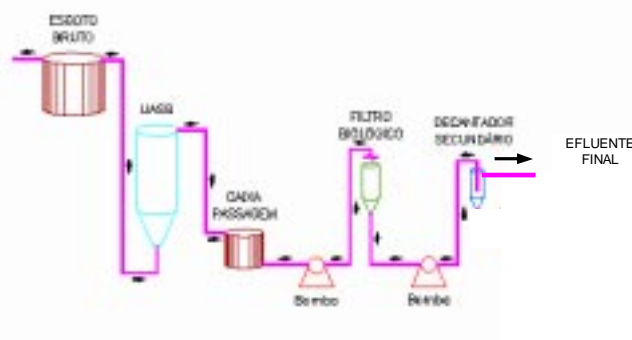


Figura 1 - Fluxograma do aparato experimental

Todas as bombas peristálticas do sistema eram controladas por um software próprio que foi desenvolvido para a planta piloto STEPPA (Sistema de Tratamento de Esgotos por Processos Anaeróbios e Aeróbios). Este software, que além de implementar o regime transiente de vazões (Figura 2), controla alguns parâmetros em linha, como temperatura, turbidez, acionamento da elevatória de esgoto bruto etc.

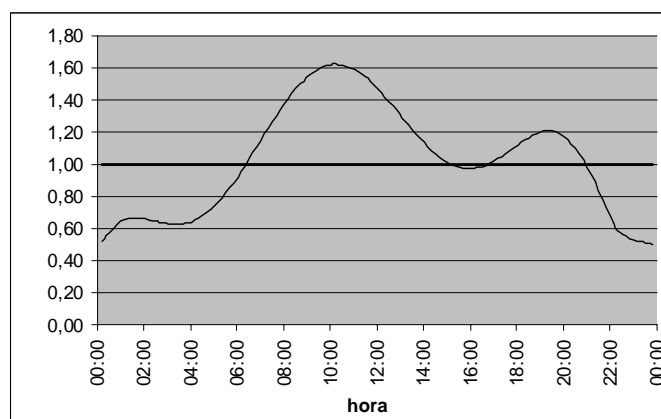


Figura 2 – Hidrograma típico de vazão

Características da planta piloto

As características principais do reator UASB e do FBP utilizados nos experimentos são apresentadas na Tabela 1. Na Figura 3 é apresentado um foto dos reatores.

Tabela1 - Características principais da planta piloto

Descrição	Unidade	Reator UASB	Filtro Biológico Percolador		
			Fase 1	Fase 2	Fase 3
Material	-	Acrílico	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Meio suporte	-	-	Escória de alto forno	Escória de alto forno	Escória de alto forno
Altura total	m	4,20	1,35	2,00	2,00
Altura do fundo falso	m	-	0,20	0,20	0,20
Altura do meio suporte	m	-	0,85	1,50	1,90
Volume da zona de reação	L	416	60	106	135
Volume do decantador secundário	L	-	90	90	90
Material do decantador secundário	-	-	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Diâmetro do decantador secundário	mm	-	300	300	300

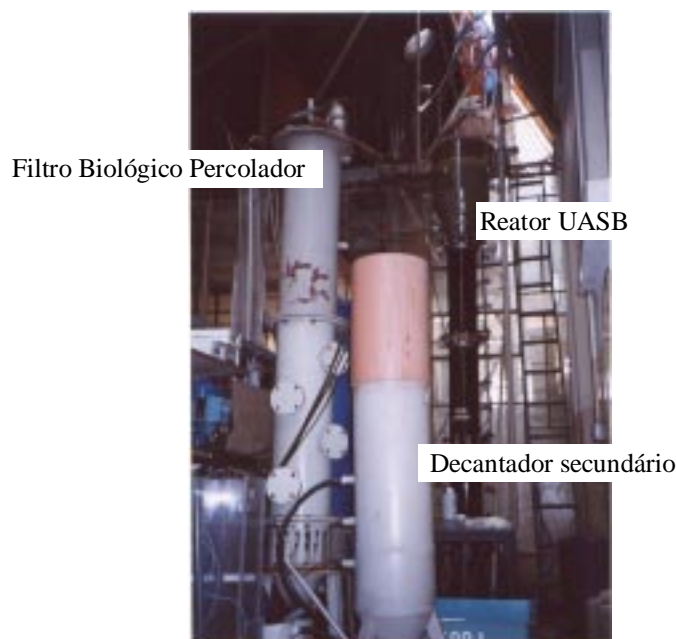


Figura 3 – Reator UASB e Filtro Biológico Percolador

Fases e características operacionais

Os experimentos foram desenvolvidos em três fases operacionais distintas, cada uma avaliando-se o funcionamento do FBP com uma altura diferente de meio suporte. A Tabela 2 resume as fases da pesquisa e as condições operacionais do FBP e do decantador secundário.

Tabela 2 – Características operacionais do sistema

Fase	Compartimento de reação			Compartimento de decantação	
	Altura do leito (m)	TAS ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	Carga orgânica volumétrica ($\text{kgDBO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)		TAS ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
					θ_h (h)
1	0,85	30,6	3,6	4,8	30,6
2	1,50	30,6	2,1	2,9	30,6
3	1,90	30,6	1,1	2,5	30,6

TAS: taxa de aplicação superficial

θ_h : tempo de detenção hidráulica

Monitoramento do sistema UASB/FBP

Durante o monitoramento das unidades piloto foram realizadas análises do esgoto bruto, do efluente do reator UASB e do efluente final decantador secundário. Os parâmetros analisados foram: DBO (total e filtrada), DQO (total e filtrada), Sólidos Suspensos Totais, alcalinidade, ácidos graxos, pH, temperatura e matéria orgânica específica (lipídeos, carboidratos e proteínas).

Para a maioria das coletas, foram realizadas amostragens compostas, sendo as análises desenvolvidas segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1998), exceto as análises de carboidratos, proteínas e lipídios, que foram realizadas de acordo com os métodos propostos por DUBOIS (1956), ITZHAKI & GILL (1964) e POSTMA & STROES (1968), respectivamente.

RESULTADOS

O sistema UASB/FPB foi operado em três fases, sendo o resumo dos resultados médios de cada fase mostrado na Tabela 3. A série histórica dos resultados obtidos durante o período operacional, em termos de DQO, DBO e SST, são apresentados nas Figuras 4, 5 e 12.

Tabela 3 – Resumo dos resultados médios

Fases	Parâmetros	Concentrações (mg.L ⁻¹)			Eficiências de remoção (%)		
		Afluente UASB	Efluente UASB	Efluente FBP	Reator UASB	FPB	Sistema UASB/FPB
1	DQOt	340	132	111	61	16	67
	DBOt	271	101	29	63	71	89
	SST	149	48	35	-	-	-
2	DQOt	440	144	100	67	31	77
	DBOt	285	101	37	65	63	87
	SST	194	57	29	-	-	-
3	DQOt	377	156	104	59	33	72
	DBOt	246	65	28	74	57	89
	SST	132	27	22	-	-	-

Remoção de matéria carbonácea

A fase 1 da pesquisa foi caracterizada pelo FBP operando com altura de meio suporte igual 0,85 m, cargas orgânicas volumétricas de 3,6 KgDBO.m⁻³.d⁻¹ e 4,8 KgDQO.m⁻³.d⁻¹, e taxa de aplicação superficial de 30,6 m³.m⁻².d⁻¹. Nesta fase, o reator UASB foi capaz de produzir um efluente com concentrações médias de 48 mgSST.L⁻¹, 101 mgDBO.L⁻¹ e 132 mgDQO.L⁻¹, enquanto as concentrações no efluente final do FBP foram 35 mgSST.L⁻¹, 29 mgDBO.L⁻¹ e 111 mgDQO.L⁻¹.

Na fase 2, o FBP foi operado com altura de meio suporte de 1,5 m, cargas orgânicas volumétricas de 2,1 kgDBO.m⁻³.d⁻¹ e 2,9 KgDQO.m⁻³.d⁻¹, e taxa de aplicação superficial de 30,6 m³.m⁻².d⁻¹. Nesta fase, o reator UASB produziu efluentes com as seguintes características: 57 mgSST.L⁻¹, 101 mgDBO.L⁻¹ e 144 mgDQO.L⁻¹. Nesta fase, foi observado um acréscimo na concentração do esgoto bruto, em relação à fase 1, em torno de 40 e 30%, no tocante aos SST e DQO, respectivamente. As concentrações médias no efluente final do FBP foram iguais a 29 mgSST.L⁻¹, 37 mgDBO.L⁻¹ e 100 mgDQO.L⁻¹.

Durante a fase 3, a altura do meio suporte foi acrescida para 1,9 m. As cargas orgânicas volumétricas aplicadas ao FBP foram iguais a 1,1 KgDBO.m⁻³.d⁻¹ e 2,5 KgDQO.m⁻³.d⁻¹, e taxa de aplicação superficial de 30,6 m³.m⁻².d⁻¹. As características médias do efluente do sistema UASB/FPB foram: 22 mgSST.L⁻¹, 28 mgDBO.L⁻¹ e 104 mgDQO.L⁻¹.

A série histórica, relativa aos resultados de remoção de matéria carbonácea, pode ser visualizada nas Figuras 4 e 5, nas quais pode-se perceber que o FBP consegue promover uma remoção complementar de matéria orgânica, em termos de DQO e de DBO. Observa-se que são mais expressivos os resultados obtidos em termos de remoção de DBO, em que as concentrações finais do FBP são mantidas abaixo de 50 mg.L⁻¹, na quase totalidade do período operacional, independentemente da altura do meio suporte. Essa análise preliminar sugere que a altura do meio suporte teve pouca influência nas concentrações efluentes de DBO e também de DQO.

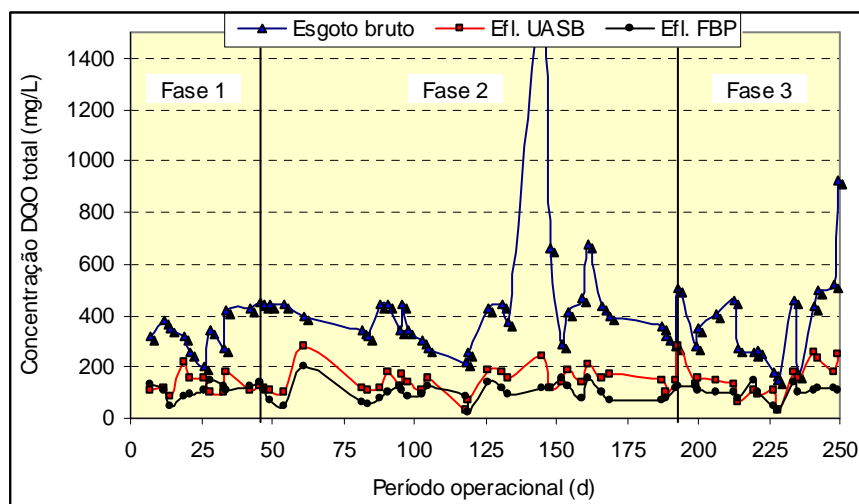


Figura 4 – Resultados de DQO total – série histórica

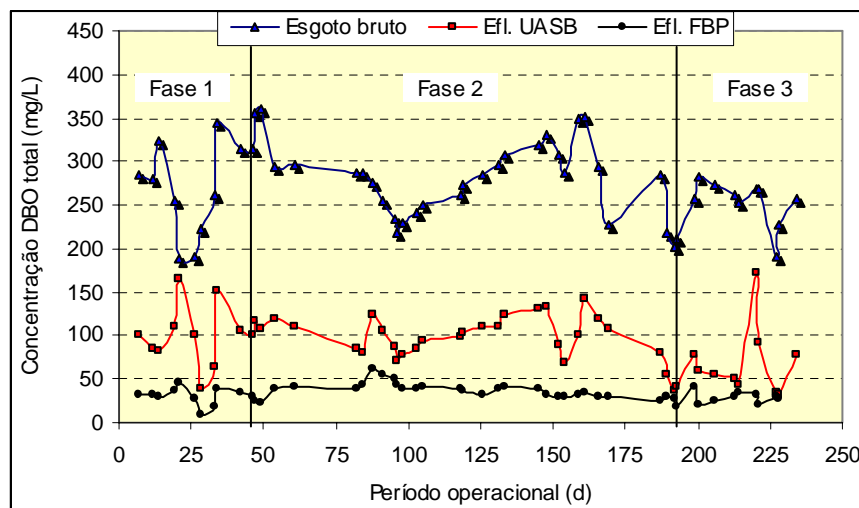


Figura 5 – Resultados de DBO total – série histórica

Influência da altura do meio suporte

Os resultados médios das concentrações efluentes e das eficiências de remoção de DQO e de DBO são mostrados, graficamente, nas Figuras 6 a 9. Pela análise destas figuras, não é possível inferir uma tendência clara da influência das diferentes alturas do meio suporte, testadas durante as fases 1, 2 e 3, na eficiência do FBP. Se, por um lado, em termos de DQO, observa-se um ligeiro aumento na eficiência do FBP, com o aumento da altura da camada suporte (Figura 6), ao longo das fases 1 ($h = 0,85$ m), 2 ($h = 1,50$ m) e 3 ($h = 1,90$ m), o mesmo não foi observado em termos de eficiências de remoção de DBO (Figura 7). Em relação a este parâmetro, as eficiências de remoção mostraram uma ligeira queda ao longo das fases 1 a 3. Entretanto, apesar das diferentes tendências de eficiências de remoção de DBO e de DQO, as concentrações finais efluentes do FBP mostraram-se muito próximas e com valores muito baixos (Figuras 8 e 9).

Ressalta-se, no entanto, que essa aparente ausência de influência de altura do meio suporte, em relação à remoção de matéria carbonácea, deve ser vista com ressalvas, já que outros fatores podem ter afetado o desempenho da planta piloto. Dentre esses fatores, pode-se destacar a temperatura, que variou ao longo das fases da pesquisa, e também as condições de ventilação natural do FBP, possivelmente afetadas pelas restrições de área dos orifícios

localizados na base deste e pelo próprio aumento da altura do compartimento de reação e da camada suporte, nas fases 2 e 3.

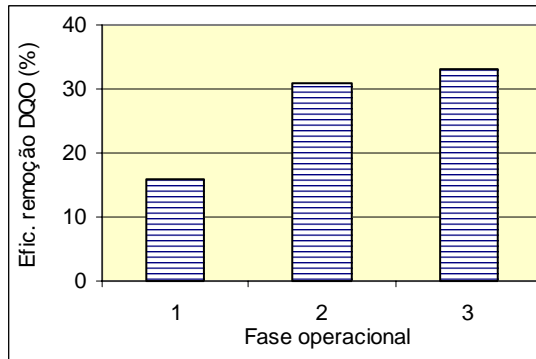


Figura 6 – Eficiências médias de remoção de DQO (fases 1, 2 e 3)

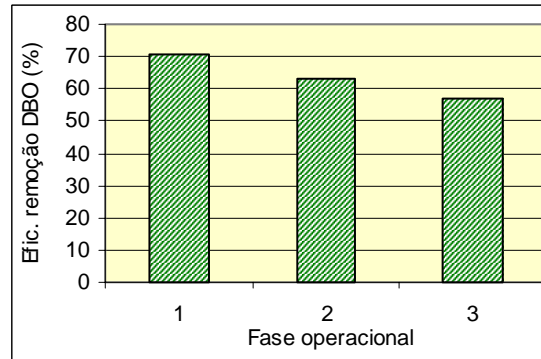


Figura 7 – Eficiências médias de remoção de DBO (fases 1, 2 e 3)

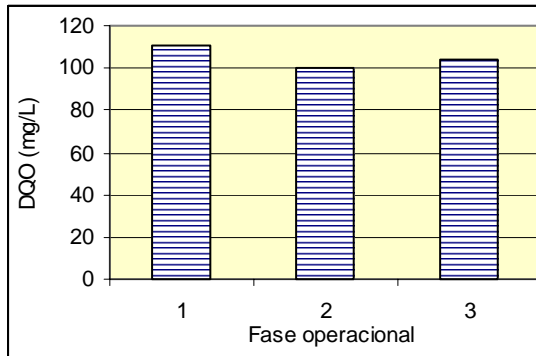


Figura 8 – Concentrações médias de DQO efluente (fases 1, 2 e 3)

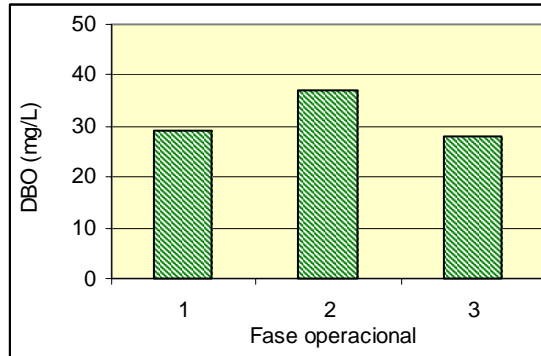


Figura 9 – Concentrações médias de DBO efluente (fases 1, 2 e 3)

Tendo em vista que a análise gráfica dos resultados médios não possibilitou inferir uma tendência definida da influência da altura do meio suporte sobre a eficiência do FBP, foi procedida, também, uma análise estatística do percentual de resultados que se enquadraram aos padrões de lançamento da legislação ambiental do estado de Minas Gerais. Para esse estudo, mostrado nas Figuras 10 e 11, observa-se que o maior percentual de atendimento ao padrão de DQO foi obtido durante a fase 2, quando aproximadamente 50% dos resultados estiveram abaixo de 90 mgDQO.L⁻¹. Para a fase 1, apenas cerca de 15% dos resultados estiveram abaixo deste padrão, enquanto na fase 3 o percentual de atendimento ao padrão foi de cerca de 20% dos resultados.

Todavia, embora com baixo percentual de atendimento ao padrão durante a fase 3, nota-se que a maior altura de meio suporte ($h = 1,90$ m) conferiu uma maior estabilidade de funcionamento ao FBP, possibilitando que cerca de 80% dos resultados de DQO ficassem abaixo de 120 mgDQO.L⁻¹ e 100% dos resultados abaixo de 150 mgDQO.L⁻¹. Já para a fase 1, em que o FBP operou com uma menor altura de meio suporte ($h = 0,85$ m), somente cerca de 60% dos resultados estiveram abaixo de 120 mgDQO.L⁻¹.

Em relação ao parâmetro DBO, a totalidade dos resultados atendeu ao padrão de lançamento de 60 mg.L⁻¹, em todas as fases da pesquisa. Novamente, observa-se uma maior estabilidade do FBP durante a fase 3, na qual cerca de 70% dos resultados de DBO estiveram abaixo de 30 mgDBO.L⁻¹ e aproximadamente 95% dos resultados abaixo de 40 mgDBO.L⁻¹.

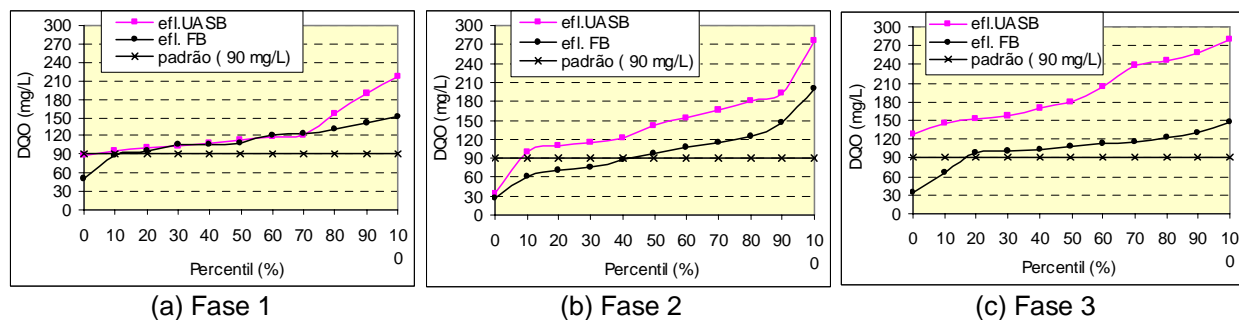


Figura 10 – Distribuição percentual dos resultados de DQO

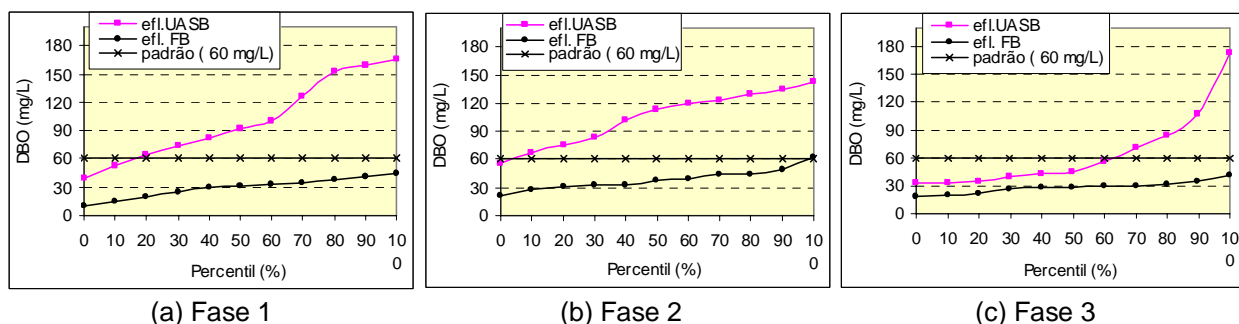


Figura 11 – Distribuição percentual dos resultados de DBO

Sólidos suspensos

A série histórica, relativa aos sólidos suspensos totais, pode ser visualizada na Figuras 12, na qual percebe-se que o FBP garante uma maior estabilidade ao sistema de tratamento e também promove uma melhoria da qualidade do efluente final, em termos de SST. Observa-se que as concentrações finais do FBP são mantidas abaixo de 50 mg.L^{-1} , na quase totalidade do período operacional, independentemente da altura do meio suporte. Essa análise preliminar sugere que a altura do meio suporte teve pouca influência nas concentrações efluentes de SST.

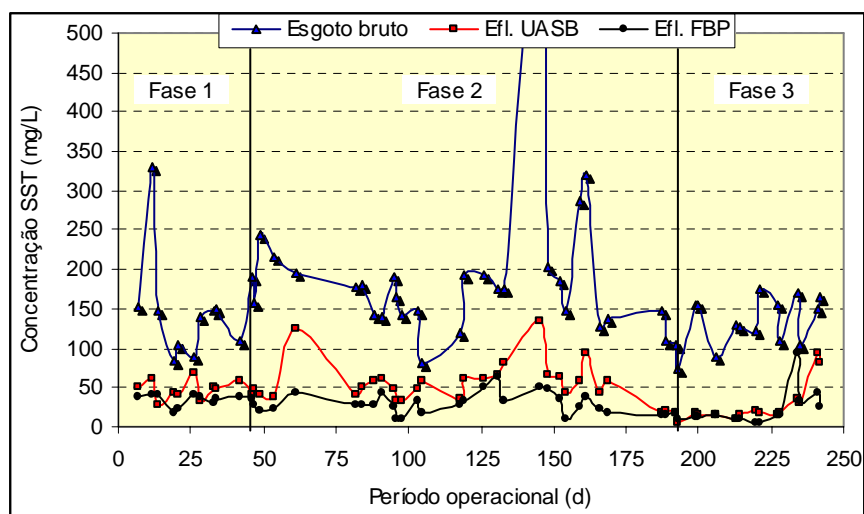


Figura 12 – Resultados de SST– série histórica

Influência da altura do meio suporte

Os resultados médios das concentrações efluentes de SST são mostrados, graficamente, na Figura 13. Pela análise desta figura, verifica-se uma tendência da influência das diferentes alturas do meio suporte, testadas durante as fases 1, 2 e 3, nas concentrações de SST no efluente do FBP. Ressalta-se, no entanto, que os valores de sólidos no efluente final foram muito baixos em todas as três fases.

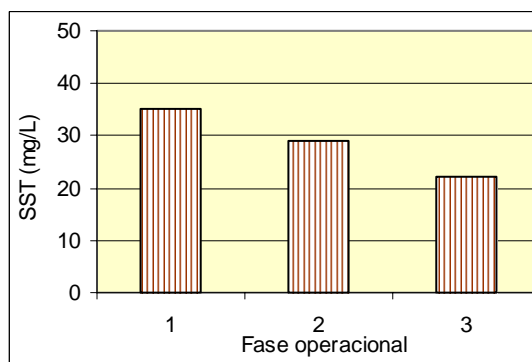


Figura 13 – Concentrações médias de SST (fases 1, 2 e 3)

Em complementação à essa análise gráfica, foi feita uma análise estatística do percentual de resultados que se enquadraram aos padrões de lançamento da legislação ambiental do estado de Minas Gerais. Para esse estudo, mostrado na Figuras 14, observa-se que praticamente a totalidade dos resultados atendeu ao padrão de lançamento de 60 mgSST.L^{-1} , em todas as fases da pesquisa. Novamente, observa-se uma maior estabilidade do FBP durante a fase 3, na qual cerca de 70% dos resultados de SST estiveram abaixo de 20 mgSST.L^{-1} , o que pode ser considerado um resultado excelente.

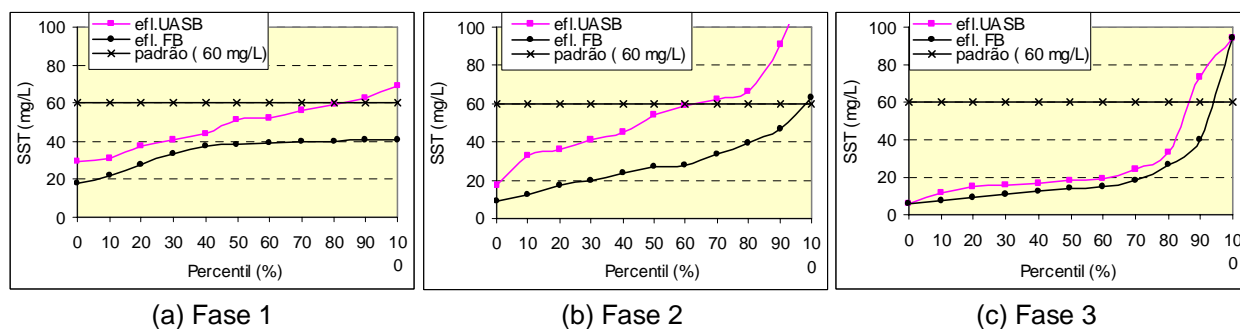


Figura 14 – Distribuição percentual dos resultados de SST

Matéria orgânica específica

Os resultados médios obtidos para remoção de matéria orgânica específica são apresentados na Tabela 4 e nas Figuras 15 a 20.

Tabela 4 – Resumo dos resultados médios para remoção de carboidratos, proteínas e lipídeos

Fases	Parâmetros	Concentrações (mg.L ⁻¹)			Eficiências de remoção		
		Afluente UASB	Efluente UASB	Efluente FBP	Reator UASB	FBP	Sistema UASB/FBP
1	Carboidratos	32	9	6	67	33	81
	Proteínas	119	82	78	30	5	33
	Lipídeos	7	2	2	61	0	71
2	Carboidratos	56	15	11	73	27	81
	Proteínas	138	88	68	35	23	50
	Lipídeos	11	4	2	61	50	81
3	Carboidratos	44	17	12	58	29	74
	Proteínas	107	80	70	24	13	35
	Lipídeos	7	4	2	45	50	70

A análise da Tabela 4 e das Figuras 15 a 20 indica que o aumento da altura do meio suporte, de 0,85 m (fase 1) para 1,50 m (fase 2), parece ter afetado positivamente a eficiência do FBP, como pode ser observado pelas eficiências mais elevadas de remoção de proteínas e lipídeos. No entanto, essa tendência não foi observada para a altura de meio suporte de 1,90 m (fase 3), em que foi observada uma redução na eficiência de remoção de proteínas, em relação à fase 2. Tendo em vista as pequenas diferenças nos valores das concentrações finais de carboidratos, proteínas e lipídeos, não se pode afirmar que a altura de meio suporte tenha afetado, significativamente, as eficiências de remoção.

A partir dos resultados apresentados, pode-se observar que as proteínas são os compostos menos afetados pelo tratamento anaeróbico e aeróbico, uma vez que remoções muito baixas foram observadas em todas as fases.

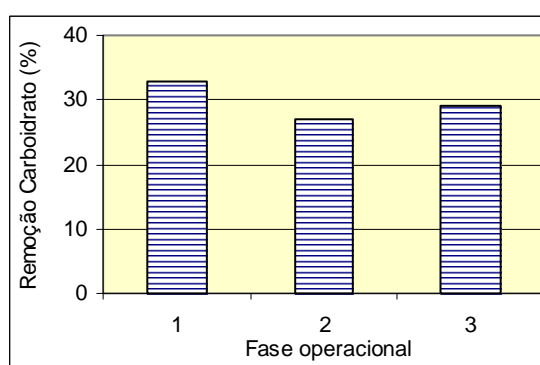


Figura 15 – Eficiências médias de remoção de carboidratos (fases 1, 2 e 3)

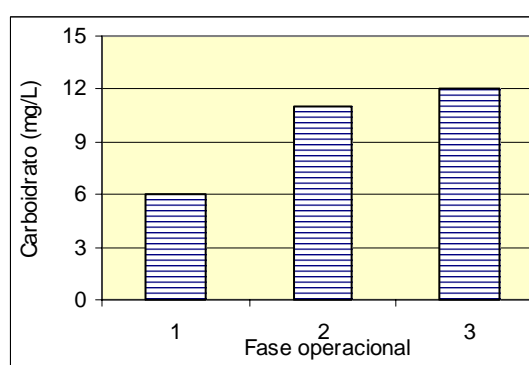


Figura 16 – Concentrações médias de carboidratos (fases 1, 2 e 3)



Figura 17 – Eficiências médias de remoção de proteínas (fases 1, 2 e 3)

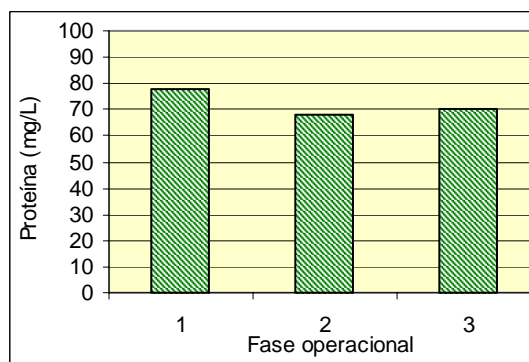


Figura 18 – Concentrações médias de proteínas (fases 1, 2 e 3)

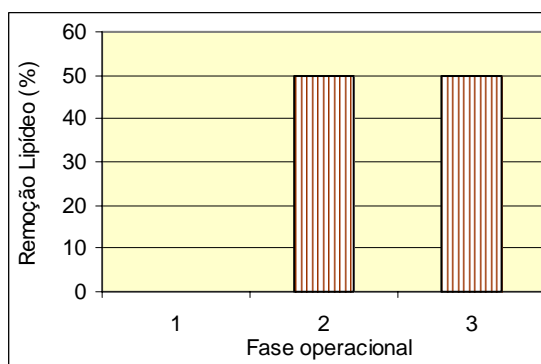


Figura 19 – Eficiências médias de remoção de lipídeos (fases 1, 2 e 3)

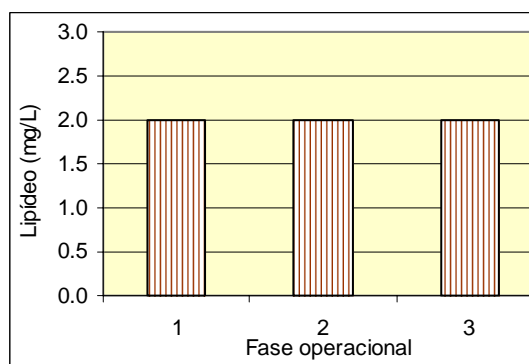


Figura 20 – Concentrações médias de lipídeos (fases 1, 2 e 3)

CONCLUSÃO

Este trabalho vem confirmar que os filtros biológicos percoladores constituem uma alternativa viável e bastante promissora para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Os resultados obtidos indicam elevadas eficiências de remoção complementar de matéria orgânica e baixas concentrações de DQO, DBO e SST no efluente final.

Quanto à influência da altura de meio suporte, em relação ao desempenho do FBP, os resultados obtidos não possibilitaram distinguir uma tendência clara de melhoria da eficiência com o aumento da camada suporte, mesmo porque outros fatores, como temperatura e ventilação natural do compartimento de reação, podem ter afetado o funcionamento do FBP entre uma fase e outra. Entretanto, foi possível inferir que o aumento da altura do meio suporte conferiu uma maior estabilidade operacional ao FBP, que passou a produzir um efluente com menores amplitudes de variação das concentrações de DQO, DBO e SST.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP – Agência de Financiamento Nacional de Estudos e Projetos, ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à FAPEMIG – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo financiamento da pesquisa, e à COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais pelo apoio na realização dos trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWWA/APHA/WEF (1998). *Standard methods for the examination of water and esgoto sanitário*. 20th edition. Washington.
- CHERNICHARO, C.A.L. (1997). *Princípios do tratamento biológico das águas residuárias*. Vol. 5: *Reatores anaeróbios*. DESA/UFMG, 247 pp.
- CHERNICHARO C.A.L. e NASCIMENTO M.C.P (2000). A new configuration of trickling filter applied to the post-treatment of effluents from UASB reactors. In: *Proc. VI Latin-American Workshop and Seminar on Anaerobic Digestion*, pp. 328-335.
- CHERNICHARO, C.A.L (coordenador) (2001). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. FINEP/PROSAB.
- DUBOIS, M. et al. *Colorimetric method for determination of sugars and related substances*. Analytical Chemistry, v. 28, 350-56, march, 1956
- IMHOFF, K & IMHOFF, K.R. *Manual de tratamento de águas residuárias*. 26ed. Edgard Blucher, 1985, 301 pp.
- ITZHAKI, R., F.; GILL, D., M. *A micro-buret method for estimating proteins*. Anal. Biochem. Chem., v.9, 404-10, 1964.
- NASCIMENTO, M.C.P, CHERNICHARO, C.A.L., GARCIA, P.B.S. (2000). Avaliação de filtros biológicos aeróbios como pós-tratamento de efluente de reatores UASB. Anais do IX SILUBESA, 09-14 de abril de 2000, Porto Seguro, BA.
- POSTMA, T.; STROES, J.A.P. *Lipid screening in clinical*. Clin. Chim. Acta, v.22, 569-78, 1968.