

Investigación y Experiencia con el Pos-Tratamiento para Reactores UASB en Brasil

Por Eduardo P. Jordão y Pedro Além Sobrinho

Introducción

El uso de tratamiento anaeróbico para el tratamiento de agua doméstica de alcantarilla está actualmente siendo expandido en Brasil. El tratamiento anaeróbico ya es una tecnología bien conocida en este campo, típicamente en lo que se refiere a reactores anaeróbicos de flujo ascendente y manto de lodos (UASB, en inglés).

Existen ventajas significativas en el uso de UASBs, notablemente el tamaño compacto de dicho tipo de sistema, sin prácticamente ningún equipo en el recipiente anaeróbico. Esto resulta en menores costos de construcción y operación, menor consumo de energía y menor producción de lodo en exceso. Sin embargo, existe una desventaja crítica: la eficiencia limitada para la eliminación de BOD, COD y TSS—aproximadamente 45 a 75 por ciento de COD, 55 a 75 por ciento de BOD se eliminan durante el proceso; la concentración de BOD en el efluente se encuentra siempre por encima de 60 mg/L, hasta 120 mg/L. La concentración de TSS en el efluente se mantiene entre 40 y 80 mg/L; menos de un orden logarítmico para la eliminación de FC y prácticamente ninguna eficiencia para la eliminación de N y P.

Para evitar una calidad deficiente de efluente que podría no satisfacer las normas legales de calidad del agua, se está usando cada vez más el pos-tratamiento con resultados excelentes y una reducción significativa en los costos de inversión. Se están diseñando y construyendo varias plantas nuevas en

Brasil, algunas de ellas con un flujo tan bajo como 3.0 y 1.5 m³/s (68 a 34 mgd). Estas plantas de tratamiento de aguas residuales secundarias, precedidas por un reactor UASB, proveen la ventaja esperada al igual

que menores costos totales de construcción y operación, comparados con los de una planta convencional primaria + secundaria. La planta puede ser implementada por etapas de manera que se hacen disponibles los fondos, con una calidad de efluente en la primera etapa de UASB que es mejor que en la fase convencional de tratamiento primario. Luego puede construirse un tratamiento de acabado anaeróbico como segunda fase del proyecto. Todas las características positivas hacen que dichas plantas sean tanto factibles como deseables, particularmente en climas cálidos y países en vías de desarrollo, donde los costos de construcción pueden ser un factor limitante para la expansión del tratamiento de aguas de alcantarilla.

Falta de infraestructura

Brasil enfrenta una situación desfavorable en lo que se refiere al alcantarillado público y tratamiento de aguas residuales. Menos de 55 por ciento de la población urbana cuenta con alcantarillas públicas y menos del 20 por ciento de las aguas residuales son tratadas. Al tomar en cuenta la población de Brasil de 160 millones de habitantes y una superficie de terreno de 8.5 millones de kilómetros cuadrados (3.3 millones de millas cuadradas), la magnitud del problema es obvia. Se están llevando a cabo esfuerzos para reducir esta deficiencia a través de préstamos del

Figura 1. Ventajas y desventajas

Las principales ventajas:

- sistema compacto, utilizando un área de superficie pequeña;
- prácticamente no se requiere ningún equipo en el proceso anaeróbico, con costos bajos de construcción y operación;
- consumo de energía muy bajo;
- se produce poco lodo en exceso;
- el lodo en exceso tiene una buena concentración (aproximadamente 5 a 6 por ciento), con buenas características de secado;
- no se requieren aparatos de calefacción en climas cálidos (como el de Brasil).

Las principales desventajas:

- posibilidad de malos olores, particularmente en el caso de un mal diseño o fallas operacionales, ya que éste es un proceso con un alto potencial de generación de H₂S;
- baja capacidad para recibir cargas tóxicas (por lo general no es el caso para las aguas de alcantarilla domésticas);
- el arranque requiere inoculación simiente;
- eficiencia limitada, según los parámetros de diseño: aproximadamente 45 por ciento a 70 por ciento para la eliminación de demanda química de oxígeno (DQO); 55 por ciento a 75 por ciento para la eliminación de demanda biológica de oxígeno (DBO); la concentración del efluente de DBO siempre es por encima de 60 mg/L, hasta 120 mg/L; concentración del efluente de sólidos suspendidos totales (SST) entre 40 y 80 mg/L; menos de un orden logarítmico para la eliminación de coliforme fecal (CF); prácticamente ninguna eficiencia para la eliminación de nitrógeno (N) y fósforo (P);
- por lo general el efluente tratado no cumple con las normas legales.

Banco Mundial, el Banco de Desarrollo Interamericano y el Fondo Japonés para Países Extranjeros, y las zonas metropolitanas tales como Río de Janeiro, São Paulo y otras ciudades brasileñas están listas para un cambio.

Al mismo tiempo que se están diseñando y construyendo nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales a través del país, están surgiendo dudas. ¿Cuáles procesos debieran ser elegidos para que los costos puedan ser minimizados y los beneficios aumentados? ¿Cuáles procesos proveen sustentabilidad en un país en vías de desarrollo como lo es Brasil? Hasta la

fecha, las plantas de tratamiento han presentado varios tipos de opciones de bajo costo: zanjas de oxidación, estanques de estabilización y aireados, tratamiento primario realzado químicamente (CEPT, en inglés), y más recientemente, luego de extensas pruebas y análisis financiados por el Ministerio de Ciencias y Tecnología, UASB seguido por procesos convencionales de pos-tratamiento.

En 1996, la organización gubernamental FINEP (“Financiadora de Estudios e Projetos”) una dependencia del Ministerio de Ciencias y Tecnología, comenzó a financiar un proyecto a través de una subvención de US10 millones otorgada a universidades brasileñas para que éstas pudieran llevar a cabo programas de investigación enfocados en la ingeniería sanitaria, particularmente en los procesos anaeróbicos seguidos por el pos-tratamiento aeróbico. Una red de 13 universidades forma este programa, el cual ya ha presentado importante información técnica y criterios de diseño.

El reactor UASB

Las características principales del reactor UASB incluyen una alta acumulación de masa biológica en el interior del reactor, actividad intensa, un alto tiempo de residencia celular (o edad del lodo) y un bajo tiempo de detención hidráulica. La alta edad del lodo, por lo general más de 30 días, es una indicación de que se está produciendo una menor cantidad de lodo en exceso y el bajo tiempo de detención hidráulica es una indicación de menores costos de construcción.¹

La Tabla 1 muestra los principales criterios de diseño para el diseño de UASB, según el programa de investigación, luego de un período de investigación de 18 meses.²

Pos-tratamiento: metodología y resultados

En la segunda fase del programa de investigación, se estudiaron cinco esquemas distintos de pos-tratamiento:

1. proceso de lodo activado;
2. filtro convencional de goteo con grava gruesa;
3. filtro aireado sumergido ya sea con grava o módulos de PVC o plástico;
4. estanques mecánicos aireados, seguidos por estanques de sedimentación; y
5. flotación de aire disuelto con coagulación y floculación de cloruro férrico.

Tabla 1. Principales criterios de diseño para UASB³

Criterios	Para flujo promedio
Carga volumétrica hidráulica	< 4.0 m ³ /m ² .d
Tiempo de detención hidráulica	6.0 – 9.0 h
Velocidad ascendente	0.5 – 0.7 m/h
Tasa de sobreflujo en la zona del clarificador	14.4 – 19.2 m ³ /m ² .d
Tiempo de detención hidráulica en la zona del clarificador	1.5 – 2.0 h
Producción de sólidos	0.1 – 0.2 kg.TSS/kg. Infl. COD
Concentración en exceso de lodo	2.0 – 5.0 por ciento
Peso específico del lodo	1020 – 1040 kg.SST/m ³

Pos tratamiento: lodo activado

Experimentos del programa de investigación utilizando lodo activado para el pos-tratamiento han demostrado lo siguiente:

- pos tratamiento: lodo activado, sin filtración, edad del lodo = 4 días
- efluente: BOD < 30 mg/L; TSS < 30 mg/L; NH₄ > 20 mg/L
- lodo producido: 90—120 g/hab.d; 0.09—0.12 L/hab.d; 22—30 g TSS/hab.d
- energía para la aireación: 5—7 kWh/hab.año
- pos tratamiento: lodo

activado, con nitrificación, edad del lodo = 7 días

- efluente: BOD < 20 mg/L; TSS < 30 mg/L; NH₄ < 5 mg/L
- lodo producido: 76—110 g/hab.d; 0.08—0.11 L/hab.d; 19—27 g TSS/hab.d
- energía para la aireación: 15 kWh/hab.año

Figura 2 muestra el esquema que se practica para este proceso.

La desnitrificación biológica no se obtiene en un lodo activado posterior a un reactor UASB. En los sistemas aeróbicos la eliminación de N y P se obtiene con una proporción N/DOQ < 0.08 y una proporción P/DOQ < 0.03, y en los sistemas pos UASB estas relaciones no son factibles. En realidad, debido a la alta eliminación de substratos orgánicos en el reactor UASB (más del 65 por ciento), y prácticamente ninguna eliminación de N y P, el efluente UASB presenta proporciones altas de N/COD y P/COD, por encima de los valores generalmente obtenidos en los sistemas aeróbicos.

Lo que se ha hecho en estos casos es que se ha tratado solamente parte del caudal en el UASB (típicamente no más del 50 por ciento). El resto fluye directamente hacia la planta de pos tratamiento de lodo activado. Aun así, el UASB presentará algunas ventajas ya que podrá recibir el lodo activado/lodo en exceso y disminuir la cantidad de energía requerida por el reactor aeróbico.

Pos tratamiento: filtro de goteo

Los experimentos del programa de investigación utilizando un filtro de goteo para pos-tratamiento han demostrado lo siguiente:

- pos tratamiento: filtro de goteo, grava
- efluente: BOD < 30 mg/L; TSS < 30 mg/L; NH₄ > 20 mg/L
- lodo producido: 100—120 g/hab.d; 0.10—0.12 L/hab.d; 25—30 g TSS/hab.d
- no se requiere energía

La Figura 3 muestra el esquema que se practica para este proceso.

En una planta de demostración, un filtro de goteo para pos-tratamiento funcionó a tasas de 20, 30 y 40 m³/m².d, obteniendo eficiencias de remoción en el orden del 78 por ciento para DOQ, 88 por ciento para DOB, y 84 por ciento para SST (las concentraciones correspondientes del efluente fueron de 81, 18, y 24 mg/L, respectivamente), a 30 m³/m².d; al funcionar a 40 m³/m².d, se perdieron los sólidos con el efluente, y la eficiencia general fue peor.⁴

Trabajando en una planta piloto, los investigadores Ramos y AlemSobrinho⁵ también utilizaron un filtro de goteo para pos-tratamiento a tasas de 10, 20, y 30 m³/m².d, buscando la eliminación de surfactante. Ellos concluyeron que la eliminación de surfactante disminuye al aumentar la tasa de sobreflujo del filtro, la eliminación de surfactante es más deficiente al aumentar la tasa de sobreflujo a más de 20 m³/m².d. No se

logró una remoción de color en un sistema UASB + SAF de 2500—3500 uH a menos de 5 uH. El UASB logró remover el hasta 400 uH. La DOB fue reducida de 300—350 mg/L a < 30 mg/L, y la DOQ fue reducida de 900—1200 mg/L a < 120 mg/L.

Pos tratamiento: estanques de estabilización

Experimentos del programa de investigación utilizando estanques de estabilización para pos-tratamiento han demostrado lo siguiente:

- pos tratamiento: estanque aireado de mezclado completo y tanque de sedimentación
- efluente: BOD < 30 mg/L; TSS < 40 mg/L; NH₄ > 25 mg/L
- lodo producido: 80—100 g/hab.d; 0.08—0.10 L/hab.d; 20—25 g.TSS/hab.d, lodo para remoción @ 4 a 5 años (para el estanque; remoción frecuente para el UASB)
- energía para la aireación: 7—9 kWh/hab.año

La Figura 5 muestra el esquema practicado para este proceso.

Dicho esquema presenta una ventaja sobre el sistema convencional de estanque aireado + estanque de sedimentación, ya que el reactor UASB reduce la carga orgánica influente que va al estanque aireado, ofreciendo una reducción sustancial de energía de aproximadamente 60

obtuvo nitrificación y aun con cargas orgánicas bajas el único caso en que ocurrió la nitrificación fue a tasas de sobreflujo menores de 10 m³/m².d.

Pos tratamiento: filtro aireado sumergido (SAF, en inglés)

Experimentos del programa de investigación con un filtro sumergido para pos-tratamiento han demostrado lo siguiente:

- pos tratamiento: filtro sumergido aireado, grava, sin filtración
- efluente: BOD < 30 mg/L; TSS < 30 mg/L; NH₄ > 20 mg/L
- lodo producido: 100—120 g/hab.d; 0.10—0.12 L/hab.d; 25—30 g TSS/hab.d
- energía para la aireación: 5—7 kWh/hab.año
- eliminación de lodo: retrolavado del filtro

La Figura 4 muestra el esquema practicado para este proceso.

Rolo y AlemSobrinho,⁶ trabajando en una planta piloto, utilizaron un filtro sumergido aireado para pos-tratamiento posteriormente al UASB y descubrieron que la DOB del efluente era siempre por debajo de 20 mg/L, con una buena eficiencia de SST (83 a 92 por ciento) y una buena tasa de eliminación de surfactante (de 4,9 mg/L a 0,7 mg/L) pero sin nitrificación. La mejor tasa de retorno de lodo al UASB fue 25 por ciento.

Aisse et al⁴ trabajando en una planta de demostración, utilizó un filtro sumergido aireado para pos-tratamiento, obteniendo una DOB de efluente siempre menor de 30 mg/L con caudales de hasta 30 m³/m².d y cargas orgánicas volumétricas de hasta 1,0 kg DOB/ m³.d.

Goncalves et al⁷ operó una planta de demostración utilizando UASB + SAF, buscando una DOQ de efluente < 90 mg/L y un SS de efluente < 30 mg/L, lo cual fue logrado. Su trabajo presenta datos extensos, relacionados a la producción de lodo, huevos de helminto, retrolavado, etc. No se detectó ningún daño en el reactor UASB a causa de la recirculación del lodo.

Otros han propuesto una modificación del SAF, sin retrolavado, utilizando clarificadores convencionales después de los filtros. En el estado de Paraná, el servicio local de agua, SANEPAR, ha diseñado tres plantas utilizando este esquema. En los estados de Minas Gerais y Espírito Santo, varios sistemas de UASB + filtros aireados de pequeño y mediano tamaño han sido construidos, mostrando resultados similares positivos, además de una DOB del efluente < 30 mg/L.

Una planta de textiles en la ciudad de Nova Odessa, SP,

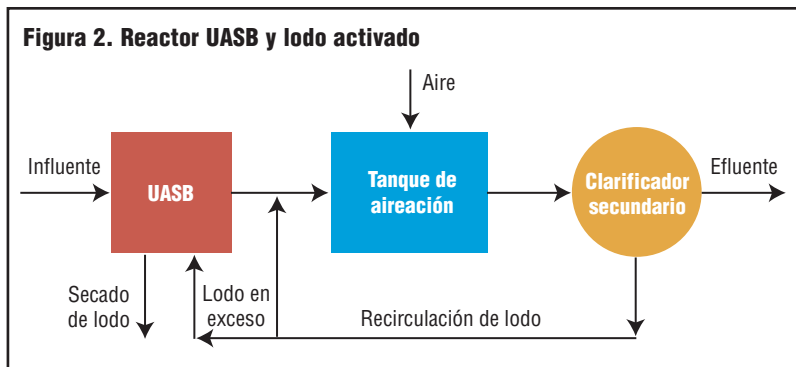


Figura 2. Reactor UASB y lodo activado

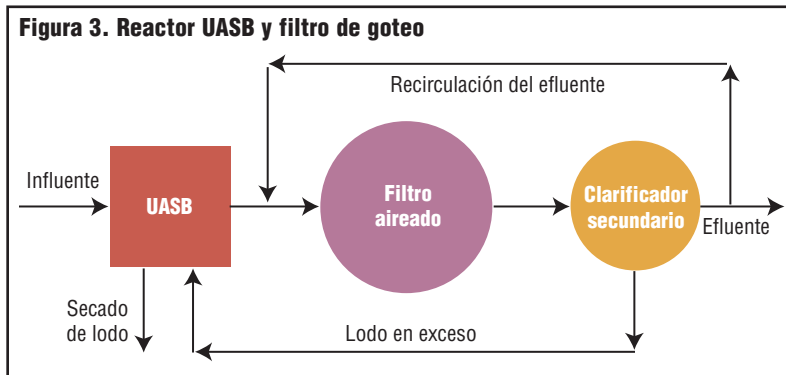


Figura 3. Reactor UASB y filtro de goteo

por ciento. Brasíla, D.F., tiene un sistema de este tipo. No se logra la nitrificación, y la DOB del efluente puede ser tan alta como 40 mg/L. El lodo se acumula y se digiere en el fondo del estanque de sedimentación, requiriendo su remoción periódica (aproximadamente cada dos a cuatro años).

Visto como pre-tratamiento para una planta secundaria, el UASB puede duplicar las tasas de eliminación de DOB o DOQ obtenidas con un tratamiento primario, mientras que al mismo tiempo produce un menor volumen de lodo. El costo total de construcción y operación para una planta será menor que para una planta convencional primaria con planta

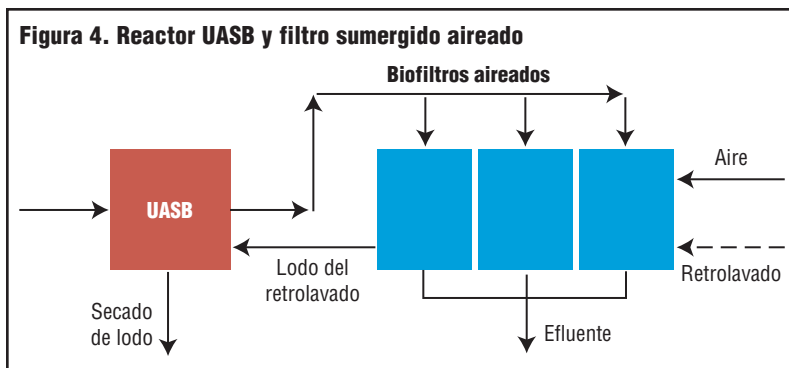


Figura 4. Reactor UASB y filtro sumergido aireado

secundaria. Asimismo, según la disponibilidad de fondos, la planta podrá ser construida en etapas: primero el reactor UASB, con calidad de efluente mejor que la de una planta convencional primaria de tratamiento; luego, como segunda etapa del proyecto, un tratamiento aeróbico de acabado. Este es el caso para la ciudad de Belo Horizonte, MG, donde la primera etapa de la planta Onça, una unidad UASB, ha sido recientemente construida para 1,800 L/s, o 1 millón e.p.

Acerca de los autores

Eduardo P. Jordão, Dr.Eng., Universidade Federal do Rio de Janeiro.
 Pedro Além Sobrinho, Dr.Eng., Universidade de São Paulo.
 Consultores del Programa Brasileño de Saneamiento, PROSAB/FINEP.
 Jordao@civil.ee.ufrj.br—Palem@usp.br

Conclusión

En general, estos estudios demuestran una variedad de ventajas importantes, incluyendo el hecho de que los clarificadores primarios, espesadores de lodo, y digestores anaeróbicos, pueden ser reemplazados por un reactor UASB, sin ningún equipo mecánico (excepto por pantallas y cámaras desarenadoras que siempre serán indispensables). Las unidades secundarias son reducidas en aproximadamente la mitad del volumen, ya que el reactor UASB reduce aproximadamente el doble de la DOB, en comparación con el tratamiento convencional primario. En el proceso de lodo activado posterior al reactor UASB, la energía se reduce a 45-55 por ciento del sistema convencional sin nitrificación, y hasta 65 a 70 por ciento con nitrificación.

Asimismo, el costo de dicho tratamiento UASB y aeróbico es menos de 80 por ciento del costo de un tratamiento convencional secundario y la producción de lodo es menor que en los procesos convencionales, con la gran ventaja de que el lodo en exceso de la fase aeróbica puede ser regresado al reactor UASB;

Por último, el lodo en exceso resultante, tomado del UASB, es bien digerido, y tiene buenas propiedades de secado. □

Referencias

- Jordão, E.P; Além Sobrinho, P—The Excellent Brazilian Experience with UASB Reactors, II WEFTEC Latin America, Puerto Rico, 2001; Além Sobrinho, P; Jordão, E.P.—Uma Análise Crítica, in Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbicos recebendo esgotos sanitários, publicado por PROSAB/FINEP, 2001
- Campos, J.R. (coord.)—Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbico e Disposição Controlada no Solo, publicado por PROSAB/FINEP, 1999
- Chernicharo, C.A.L. (coord)—Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbicos, en Coletânea de trabalhos técnicos, vol.1, publicado por PROSAB/FINEP, 2000; Chernicharo, C.A.L. (coord)—Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbicos, publicado por PROSAB/FINEP, 2001
- Aisse, M., et al—Avaliação do Sistema Reator UASB e Filtro Biológico para o Tratamento de Esgoto Sanitário, en Coletânea de Trabalhos Técnicos, Vol.2, publicado por PROSAB/FINEP, 2001
- Ramos, R; Além Sobrinho, P—Remoção de Surfactantes no Pós-Tratamento de Efluente de Reator UASB Utilizando Filtro Biológico Percolador, XXVIII Conferencia Intramericana de AIDIS, Ciudad de México, 2002
- Rolo, M.C; Além Sobrinho, P—Pós-Tratamento de Efluente de Reator UASB Utilizando Filtro Biológico Aerado Submerso com Enchimento Alternativo, XI Luso-Brazilian Symposium, Natal, 2004
- Gonçalves, R.F. et al—Associação de um Reator UASB e Biofiltros Aerados Submersos para Tratamento de Esgoto Sanitário, en Coletânea de trabalhos técnicos, vol.1, publicado por PROSAB/FINEP, 2000

Figura 5. UASB con estanque aireado y estanque de sedimentación

