

Desempenho operacional de lagoas de estabilização do estado de Goiás, Brasil

S. C. M. Angelim* e E. H. de Carvalho**

* Saneamento de Goiás S/A, Avenida Fued José Sebba nº 1245, Jardim Goiás, Goiânia – GO, Brasil. CEP: 74805-100 (E-mail: susane@saneago.com.br; susane2008@gmail.com)

** Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Praça Universitária s/nº, Setor Universitário, Goiânia – GO, Brasil. CEP: 74605-220 (E-mail: carvalho@eec.ufg.br)

Resumo Este trabalho apresenta a avaliação do desempenho operacional de lagoas de estabilização de estações de tratamento de esgotos sanitários do estado de Goiás, região central do Brasil. O objetivo geral foi avaliar os principais parâmetros de projeto, tais como tempo de detenção hidráulica, taxa de aplicação de carga orgânica e eficiência de remoção de DBO. Para tanto, avaliou-se quatro sistemas operados pela Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO), denominados “Anápolis”, “Aruanã”, “Cruzeiro do Sul” e “Parque Atheneu”, no período de janeiro/2000 a dezembro/2001. Constatou-se que todos os sistemas apresentaram eficiência global de remoção de DBO entre 85% e 90%. As lagoas anaeróbias, facultativa aerada primária e aerada de mistura completa primária apresentaram bom desempenho, com eficiências da ordem de 50% a 70%, 78% e 65%, respectivamente. As lagoas facultativas secundárias, embora trabalhando com tempo de detenção hidráulica e taxa de aplicação superficial conservadores, mostraram eficiências baixas (de 26% a 38%).

Palavras-chave Esgotos; lagoas de estabilização; parâmetros operacionais; remoção de DBO; tratamento biológico.

INTRODUÇÃO

Dentre os diversos processos de tratamento de esgotos domésticos atualmente utilizados no Brasil, as lagoas de estabilização se destacam devido principalmente à sua simplicidade operacional e elevada eficiência de remoção de matéria orgânica, favorecidas pelas condições climáticas do país, sendo largamente utilizadas, associadas ou não a outros sistemas de tratamento.

Nesse contexto, os mais recentes desenvolvimentos alcançados em tratamento dos esgotos por meio de lagoas de estabilização têm permitido que as diversas etapas do processo sejam otimizadas, obtendo-se mais segurança no desempenho global dos sistemas, com base no maior conhecimento dos fenômenos que ocorrem em cada etapa do tratamento (Neder e Pinto, 1993).

No estado de Goiás, região central do Brasil, a Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO) é responsável pelos serviços de água e esgoto em 223 dos 246 municípios goianos, operando atualmente 44 estações de tratamento de esgotos, das quais 70% são compostas unicamente por lagoas de estabilização e cerca de 20% possuem outros processos de tratamento conjugados com lagoas, ou seja, quase 90% dos sistemas operados utilizam lagoas de estabilização.

Contudo, a avaliação pós-implantação dos sistemas em alguns casos ainda não se efetivou ou não está devidamente consolidada. Esta realidade evidencia a necessidade de se desenvolver estudos e pesquisas direcionados à obtenção de parâmetros operacionais específicos dessas instalações que possam ser representativos para o estado.

A avaliação operacional de estações de tratamento de esgotos, além de ser uma medida de controle do desempenho, é um importante mecanismo de retroalimentação para a definição de parâmetros de

projeto regionalizados, contribuindo com dados mais representativos e intervalos mais estreitos, obtidos em escala real, que poderão ser utilizados com maior segurança.

Estruturado dentro da linha de tratamento biológico de esgotos domésticos, o presente artigo tem como objetivo avaliar o desempenho operacional das lagoas de estabilização de quatro sistemas de tratamento operados pela SANEAGO no estado de Goiás, situados nas cidades de Goiânia (sistemas Aruanã e Parque Atheneu), Anápolis (sistema Anápolis) e Aparecida de Goiânia (sistema Cruzeiro do Sul), enfocando-se os principais parâmetros de projeto, tais como tempo de detenção hidráulica, taxa de aplicação de carga orgânica e eficiência de remoção de DBO, de modo a balizar as referências atualmente utilizadas na região.

METODOLOGIA

Este artigo apresenta parte dos resultados de Angelim (2005), cuja pesquisa foi desenvolvida com base nos dados operacionais da SANEAGO.

A escolha dos sistemas baseou-se nos seguintes critérios: funcionamento de no mínimo um ano anterior ao período de estudo; dados operacionais de no mínimo 10 meses; medições de vazão com frequência mínima diária; e análises físicas e químicas do esgoto em cada etapa do tratamento com frequência mínima mensal. Quatro sistemas de tratamento – denominados “Anápolis”, “Aruanã”, “Cruzeiro do Sul” e “Parque Atheneu” foram escolhidos por serem os únicos que possuíam tais requisitos à época, sendo o primeiro de médio porte e os outros três de pequeno porte. O período estudado foi de 2000 a 2001.

As medições de vazão foram realizadas diariamente e com frequência horária, sendo das 8:00 às 18:00 horas nos sistemas Aruanã, Cruzeiro do Sul e Parque Atheneu, e durante 24 horas no sistema Anápolis. As vazões foram determinadas por meio de medidores tipo *Parshall* localizados nas entradas das estações de tratamento, com exceção do sistema Anápolis, onde as medições foram feitas na elevatória final.

Cabe ressaltar que as características dos esgotos levantadas por Angelim (2005) foram: temperatura, sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, coliformes fecais e coliformes totais. Entretanto, neste trabalho são avaliados apenas os resultados médios mensais de demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

As amostras de esgoto foram do tipo composta para todas as lagoas, exceto as do sistema Anápolis. Todas as análises e exames laboratoriais foram realizados conforme a metodologia padronizada pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998).

Foram avaliados os seguintes parâmetros operacionais: vazão, DBO, tempo de detenção hidráulica, taxa de aplicação superficial, taxa de aplicação volumétrica e eficiência de remoção de DBO.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros operacionais dos sistemas em estudo, cujos fluxogramas são mostrados nas Figuras 1 a 4, constam na Tabela 1.

As temperaturas do ambiente variaram entre 19°C e 30°C, com médias anuais de 25°C e 24°C em 2000 e 2001, respectivamente.

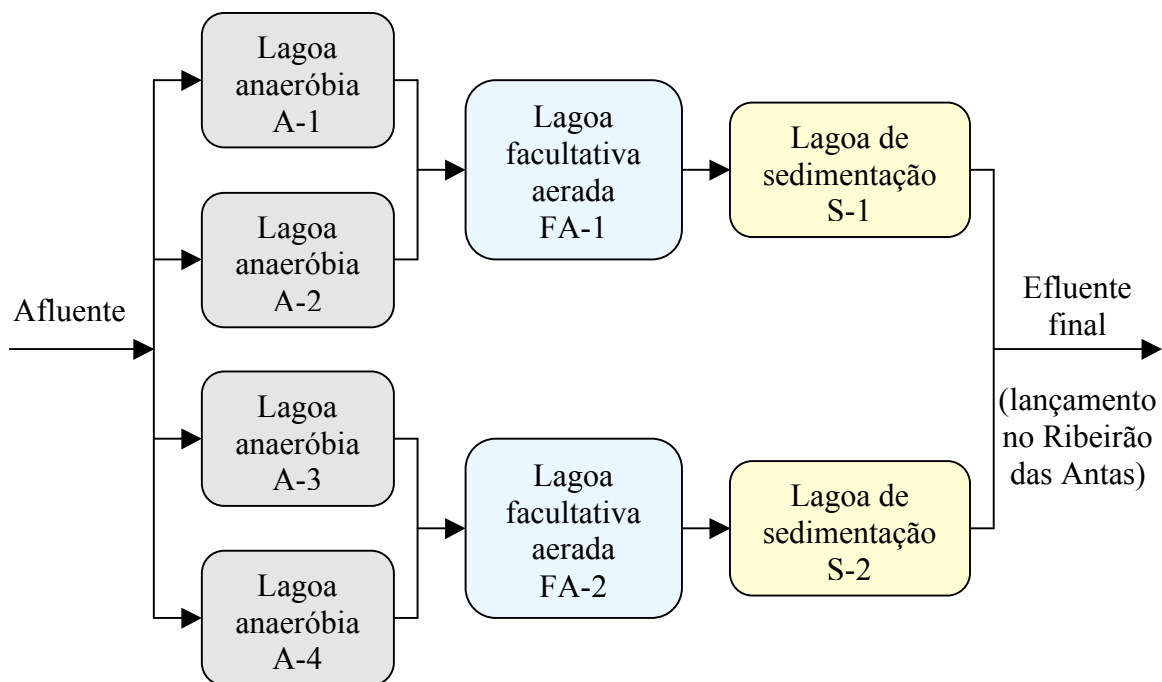


Figura 1 – Fluxograma do sistema de tratamento de esgotos Anápolis.

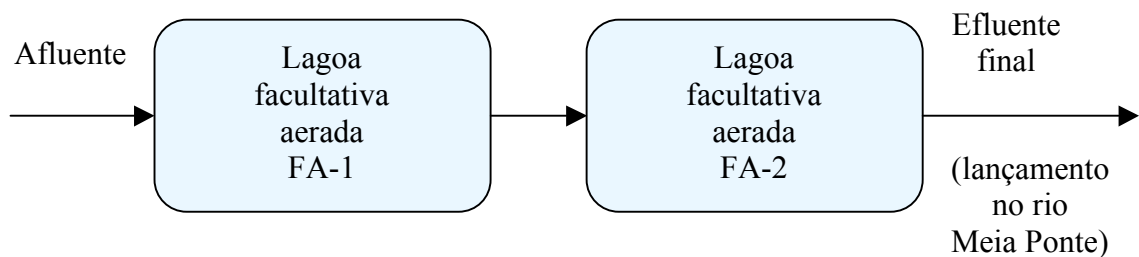


Figura 2 – Fluxograma do sistema de tratamento de esgotos Aruanã.

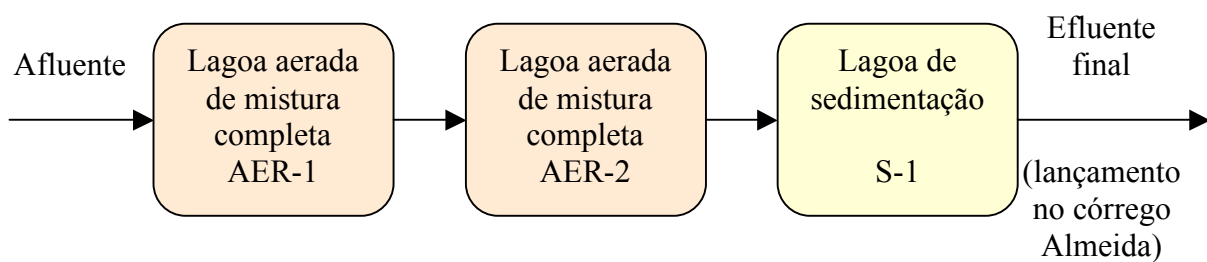


Figura 3 – Fluxograma do sistema de tratamento de esgotos Cruzeiro do Sul.

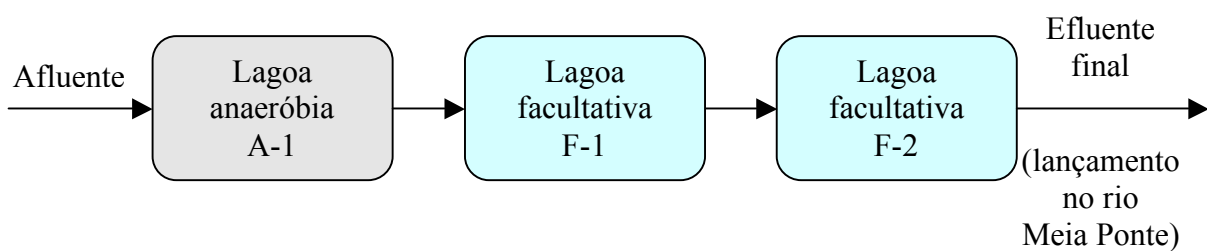


Figura 4 – Fluxograma do sistema de tratamento de esgotos Parque Atheneu.

Tabela 1- Resumo geral dos resultados dos sistemas estudados.

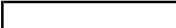

| Sistema | Vazão afl. (l/s) | DBOafl (mg/l) | Lagoa | Prof. útil (m) | L/B | Entrada ⁽¹⁾ | | Saída ⁽¹⁾ | | Nº aer. em func. | Pot. unitária (W/m³) | TDH (d) | TAS (kgDBO/ha.d) | TAV (kgDBO/m³.d) | DBOefl (mg/l) | E _{DBO} (%) | E _{DBO} acum. (%) |
|--------------------------------|------------------|---------------|-----------|----------------|-----|------------------------|---|----------------------|---------------------------------------|------------------|----------------------|---------|------------------|------------------|---------------|----------------------|----------------------------|
| | | | | | | Nº | Tipo / Pto. de lcto. | Nº | Tipo / Pto. de coleta | | | | | | | | |
| Anápolis ⁽²⁾ | 320.8 | 331 | A-1/2/3/4 | 4.0 | 2.0 | 1 | sub (h=1.8m)/ ~ centro | 1 | vertedor/ ext _F - 10.0m | - | - | 6.6 | 1689.1 | 0.051 | 163 | 50.6 | 50.6 |
| | | | FA-1/2 | 3.0 | 2.0 | 2 | sub (h=0.0m)/ ~ L/10 da ext _i | 1 | vertedor/ ext _F - 7.5m | 2 - 4 | 0.49-0.99 | 6.5 | - | - | 84 | 48.9 | 74.6 |
| | | | S-1/2 | 3.5 | 3.0 | 2 | sub (poço)/ ~ L/3 da ext _i | 1 | vertedor/ ext _F - 8.8m | - | - | 7.7 | - | - | 33 | 55.4 | 89.9 |
| Aruanã ⁽²⁾ | 34.5 | 476 | FA-1 | 3.5 | 1.8 | 1 | sub (h=2.7m)/ ~ ext _i (+2.0m) | 1 | vertedor/ ext _F | 2 | 1.83 | 4.1 | - | - | 107 | 76.5 | 76.5 |
| | 31.4 | 461 | | | | | | | | | | 4.5 | - | - | 83 | 79.5 | 79.5 |
| | | | FA-2 | 3.5 | 2.5 | 1 | sub (h=2.9m)/ ~ ext _i (+1.7m) | 1 | vertedor/ ext _F | 1 | 0.50 | 4.9 | - | - | 57 | 40.4 | 87.4 |
| | | | | | | | | | | | | 5.4 | - | - | 76 | 28.0 | 85.2 |
| Cruzeiro do Sul ⁽³⁾ | 49.0 | 447 | AER-1 | 3.8 | 4.5 | 1 | sub (h=1.1m)/ ext _i + 5.5m | 1 | vertedor/ ext _F | 4 | 4.11 | 2.5 | - | - | 142 | 67.7 | 67.7 |
| | 44.1 | 549 | | | | | | | | | | 2.8 | - | - | 194 | 62.5 | 62.5 |
| | | | AER-2 | 2.8 | 3.6 | 1 | sup (cascata)/ ext _i | 1 | vertedor/ ext _F | 3 | 4.77 | 1.5 | - | - | 85 | 39.2 | 80.4 |
| | | | S-1 | 2.8 | 2.3 | 1 | sup (cascata)/ ext _i | 1 | vertedor/ ext _F | - | - | 1.6 | - | - | 107 | 51.8 | 76.2 |
| | | | | | | | | | | | | 1.2 | - | - | 65 | 24.6 | 85.1 |
| | | | | | | | | | | | | 1.4 | - | - | 71 | 25.1 | 84.9 |
| Parque Atheneu ⁽³⁾ | 69.1 | 293 | A-1 | 3.5 | 1.3 | 2 | sub (h=0.2m)/ ext _i + 9.1m | 3 | vertedor/ ext _F + 9.4m | - | - | 7.1 | 1215.4 | 0.041 | 86 | 70.3 | 70.3 |
| | 66.6 | 328 | | | | | | | | | | 7.4 | 1270.1 | 0.043 | 97 | 65.4 | 65.4 |
| | | | F-1 | 2.94 | 1.9 | 2 | sub (h=0.2m)/ ext _i + 7.6m | 3 | vertedor/ ext _F + 9.4m | - | - | 9.9 | 229.4 | - | 52 | 37.8 | 81.2 |
| | | | F-2 | 2.26 | 1.7 | 2 | sub (h=0.2m)/ ext _i + 5.9m | 3 | vertedor/ ext _F + 9.4m | - | - | 10.3 | 254.9 | - | 59 | 36.9 | 77.0 |
| | | | | | | | | | | | | 10.3 | 105.9 | - | 37 | 28.9 | 86.9 |
| | | | | | | | | | | | | 10.7 | 118.8 | - | 41 | 26.2 | 85.9 |

1) Disposta ao longo da largura das lagoas;

2) Tratamento preliminar precedente: gradeamento e desarenação;

3) Tratamento preliminar precedente: gradeamento.

LEGENDA:

| | | | |
|---|----------------------------|------------------|---|
|  | ano 2000 | sub | submersa |
|  | ano 2001 | sup | superficial |
| A | Anaeróbia | L | comprimento no NA da lagoa |
| F | Facultativa | h | altura em relação ao fundo |
| FA | Facultativa aerada | ext _i | extremidade inicial da lagoa |
| AER | Aerada de mistura completa | ext _F | extremidade final da lagoa |
| S | Sedimentação | poço | poço de distribuição c/ aberturas de 5cmx100cm a 2,15m do fundo |

As lagoas anaeróbias apresentaram tempos de detenção hidráulica elevados, com médias anuais de aproximadamente 7 dias, enquanto usualmente na literatura é recomendado de 2 a 5 dias (Pessôa e Jordão, 1982). Já as taxas de aplicação volumétrica foram abaixo da faixa de 0.100 a 0.400 kgDBO/m³.d, tipicamente indicada para projeto de lagoas anaeróbias tratando esgotos domésticos (Silva e Mara, 1979; Von Sperling, 1996; Mendonça, 2000), com médias anuais entre 0.041 e 0.051 kgDBO/m³.d. Conforme alerta Von Sperling (1996), com tempos de detenção acima de 6 dias a lagoa anaeróbia pode se comportar como facultativa e a presença de oxigênio é fatal para as bactérias metanogênicas. Diante desses resultados, seria esperado que tais lagoas apresentassem baixas eficiências, uma vez que oscilariam entre condições anaeróbias e facultativas, o que não ocorreu. As eficiências médias de remoção de DBO variaram de 51% a 70.3%.

O melhor desempenho da lagoa anaeróbia Parque Atheneu deve-se possivelmente às seguintes características dos dispositivos de entrada: maior quantidade de tubulações (2 contra 1 em Anápolis); localização próxima ao início da lagoa (em Anápolis é quase no centro); e tubulação entra pelo fundo (em Anápolis é aproximadamente a meia altura). Esses aspectos provavelmente proporcionaram melhor distribuição do afluente, garantiram o tempo de detenção hidráulica e favoreceram o contato do esgoto afluente com a biomassa, mais concentrada no lodo de fundo.

Embora trabalhando com tempos de detenção hidráulica relativamente baixos, aproximadamente 4 dias, a lagoa facultativa aerada primária do sistema de tratamento Aruanã apresentou eficiências médias anuais de quase 80%.

Diferentemente, a eficiência das lagoas facultativas aeradas do sistema Anápolis, a jusante de lagoas anaeróbias, foi de 49% para o tempo de detenção hidráulica médio de 6.5 dias. Estes resultados aproximam-se dos verificados para a segunda lagoa facultativa aerada do sistema Aruanã, cuja eficiência variou de 28% a 40% para tempos de detenção de aproximadamente 5 dias. Tal comportamento dá indícios da maior dificuldade de remoção de matéria orgânica em esgotos pré-tratados, entretanto nesse caso a menor potência unitária, cerca de um terço daquela utilizada pela lagoa facultativa aerada primária Aruanã, também constitui fator de diminuição da eficiência.

Apesar dos reduzidos tempos de detenção hidráulica, de até 1.3 dia, as lagoas aeradas de mistura completa do sistema Cruzeiro do Sul apresentaram eficiências aceitáveis, o que se deve, possivelmente, às elevadas DBO afluente e concentração de sólidos suspensos nas lagoas, pois, conforme Von Sperling (1996), quanto maior a concentração da biomassa, maior a eficiência.

A lagoa de sedimentação do sistema Cruzeiro do Sul teve seu bom funcionamento comprometido ao trabalhar com tempo de detenção hidráulica médio de 1.2 dia, valor que na prática foi ainda menor devido ao acúmulo de lodo durante mais de dois anos.

Entende-se que as lagoas de sedimentação do sistema Anápolis não estejam trabalhando para cumprir sua função específica porque na lagoa facultativa aerada, a montante, ocorre a sedimentação de boa parte dos sólidos suspensos. As taxas de aplicação superficial e volumétrica em torno de 340 kgDBO/ha.d e 0.011 kgDBO/m³.d, respectivamente, levam a acreditar que tais lagoas estejam praticamente funcionando como facultativas.

Analisando as lagoas facultativas, verificou-se que durante o período estudado o tempo de detenção hidráulica esteve em torno de 10 dias para as duas lagoas. Considerando que na literatura existe um intervalo de valores bastante amplo para este parâmetro, variando principalmente em função da temperatura, e que na maioria dos meses estudados a temperatura no sistema Parque Atheneu esteve acima de 23°C, os tempos de detenção registrados mostram-se adequados.

Quanto à taxa de aplicação superficial, este parâmetro também varia em função de diversos fatores, tais como temperatura, insolação e DBO dos esgotos. Usualmente em projetos para o estado de Goiás tem-se adotado valores entre 150 e 250 kgDBO/ha.d. Estudando lagoas facultativas com tratamento anaeróbio prévio localizadas no Distrito Federal, também situado na região central do Brasil, Soares e Bernardes (2001) deduziram uma faixa considerada ótima para a taxa de aplicação superficial, entre 350 e 450 kgDQO/ha.d, a qual pode ser expressa, em termos de DBO, entre aproximadamente 210 e 270 kgDBO/ha.d. Portanto, as taxas da primeira lagoa facultativa do sistema Parque Atheneu estiveram de acordo com esta referência, com médias anuais de 229 e 255 kgDBO/ha.d, enquanto a segunda lagoa apresentou taxas inferiores, com médias de 106 e 119 kgDBO/ha.d.

Estes resultados revelam-se bastante conservadores, entretanto a eficiência das lagoas facultativas foi relativamente baixa, mesmo tendo em conta que possuem tratamento precedente através de lagoa anaeróbia. A remoção de DBO em lagoas facultativas primárias é geralmente de 70% a 80% (Mendonça, 2000), enquanto em lagoas secundárias fica em torno de 45%, para tempos de detenção entre 4 e 10 dias (Galvão Júnior *et al.*, 1999; Athayde Júnior *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2001).

CONCLUSÕES

De uma forma geral as eficiências globais de remoção de DBO dos sistemas de lagoas estiveram entre 85% e 90%, mesmo sob diferentes condições de funcionamento.

As lagoas anaeróbias apresentaram eficiências médias anuais de até 70% ao trabalhar com tempos de detenção hidráulica da ordem de 7 dias e taxas de aplicação volumétrica abaixo de 0,055 kgDBO/m³.d, demonstrando tolerância em suportar, mantendo boa eficiência, uma situação indesejável que favorece a oscilação entre condições anaeróbias e facultativas .

As lagoas facultativa aerada primária e aerada de mistura completa primária apresentaram eficiências da ordem de 78% e 65%, respectivamente, para baixos tempos de detenção. Os índices das facultativas aeradas secundárias variaram entre 28% e 49%.

As lagoas facultativas, embora trabalhando com tempos de detenção hidráulica e taxas de aplicação superficial conservadores (tempo em torno de 10 dias e taxas de 240 kgDBO/ha.d para a primeira lagoa e de 110 kgDBO/ha.d para a segunda), mostraram eficiências relativamente baixas (na faixa de 26% a 38%), mesmo considerando a existência da lagoa anaeróbia precedente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIM S. C. M. (2005). **Avaliação técnico-operacional de lagoas de estabilização de estações de tratamento de esgotos do estado de Goiás** (*Technical and operational evaluation of waste stabilization ponds of plants in Goiás*) Monografia (Especialização). Escola de Engenharia Civil , Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

ATHAYDE JÚNIOR G. B., ATHAYDE, S. T. S., SILVA S. A. (2001). **Comportamento de lagoas facultativas secundárias no tratamento de águas residuárias domésticas** (*Behaviour of secondary facultative waste stabilization ponds treating wastewater*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES. p. 1-5, ref. II-140.

GALVÃO JÚNIOR A. de C., MAGALHÃES C. A. de C., MORENO J. (1999). **Avaliação dos sistemas de tratamento por lagoas de estabilização, em cidades operadas pela unidade de negócio do médio Tietê – SABESP** (*Evaluation of waste stabilization ponds systems, in cities of Middle Tietê Unit – SABESP*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20., 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, p. 333-341, ref. I-078.

MENDONÇA S. R. (2000). **Sistemas de lagoas de estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío** (*Waste stabilization ponds systems: How to use wastewater in treatment systems*). São Paulo: Mc Graw Hill.

NEDER K. D., PINTO M. A. T. (1993). **Lagoa de estabilização Samambaia: novas tecnologias no processo de tratamento de esgotos domésticos por lagoas de estabilização** (*Waste stabilization ponds in Samambaia: New technologies in waste stabilization ponds wastewater treatment process*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17., 1993, Natal. Anais... Natal: ABES, p. 458.

PESSÔA C. A., JORDÃO E. P. (1982). **Tratamento de esgotos domésticos: concepções clássicas de tratamento de esgotos** (*Wastewater treatment: Classical conceptions*). 2. ed. Rio de Janeiro: ABES; BNH, 1982. v. 1.

SILVA J. B. P. et al. (2001). **Desempenho de uma série de lagoas de estabilização rasas tratando esgotos domésticos** (*Performance of a row of low depth waste stabilization ponds treating wastewater*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES. p. 1-5, ref. II-043.

SILVA S. A., MARA D. D. (1979). **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização** (*Biologic treatments of wastewater: Waste stabilization ponds*). 1. ed. Rio de Janeiro: ABES.

SOARES S. R. A., BERNARDES R. (2001). **Revisão do critério da taxa de aplicação superficial no dimensionamento de lagoas facultativas** (*Review of facultative ponds superficial application rates*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES. p. 1-7, ref. II-013.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). 20th edn, American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation, Washington DC, USA.

VON SPERLING M. (1996). **Lagoas de estabilização** (*Waste stabilization ponds*). Belo Horizonte: DESA-UFMG. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 3).