

Automação de um Reator de Bateladas Sequenciais para Tratamento de Esgotos

Moacy Pereira da Silva¹, Aretho de Oliveira Barbosa¹

¹Professor do IFPB – IFPB. e-mail: moacy.silva@ifpb.edu.br

¹Engenheiro de Automação e Controle. e-mail: aretho@gmail.com

Resumo: Neste trabalho são apresentadas atividades relacionadas à automação de uma planta de tratamento biológico de esgotos, baseada no processo de lodo ativado trabalhando em regime de bateladas. Os reatores de bateladas sequenciais (RBS) foram escolhidos por apresentarem bons resultados na remoção de poluentes. A automação realizada proporcionou a obtenção de dados operacionais da evolução do processo bem como da taxa de oxigênio dissolvido, permitindo assim que estratégias de controle possam ser implementadas.

Palavras-chave: automação, instrumentação eletrônica, lodo ativado.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de lodo ativado têm sido amplamente utilizados para o tratamento de esgotos domésticos e industriais, face a baixa concentração de matéria orgânica do efluente, possibilitando, em alguns casos, a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo), além da grande flexibilidade operacional. Entretanto, o alto custo de implantação e manutenção, a grande quantidade de lodo gerado e a elevada mecanização são as principais desvantagens destes sistemas (BARBOSA, 2008).

A automação de processos teve um grande avanço nas últimas décadas, sobretudo com o desenvolvimento da tecnologia dos computadores, proporcionando operações de sistemas de tratamento de esgotos cada vez menos problemáticas, além de contribuir para a redução no consumo de energia, principal fator que influencia nos custos operacionais dos sistemas de lodo ativado (LIRA, 2001).

Para a realização deste trabalho foram automatizados dois Reatores de Bateladas Sequenciais em escala piloto, operados paralelamente e com configurações diferentes, para que se pudesse obter resultados que realçassem uma ou outra característica em cada um dos sistemas estudados.

A partir da Figura 1, observa-se a configuração do conjunto de sistemas operados, sendo então definidos dois tipos de sistemas: sistema de alimentação (bombeamento de esgoto bruto e tratamento preliminar) e sistemas de lodo ativado.

O sistema de alimentação compreende o poço de visita, a partir do qual o esgoto bruto é bombeado para um desarenador vertical e em seguida encaminhado para os sistemas de tratamento pela ação da gravidade.

Já os sistemas de lodo ativado são formados pelos tanques de armazenamento e descarte e as unidades de tratamento propriamente ditas. Ao final do processo de tratamento, o efluente tratado é novamente lançado na rede coletora de esgotos.

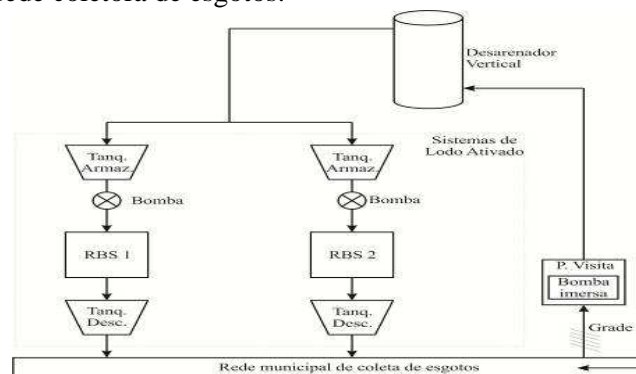


Figura 1: Diagrama representativo dos sistemas de captação, tratamento preliminar e distribuição do esgoto municipal para os sistemas de lodo ativado.

O processo de tratamento utilizando RBS's é caracterizado pela execução de etapas sequenciais no tempo, conforme mostrado na Figura 2.

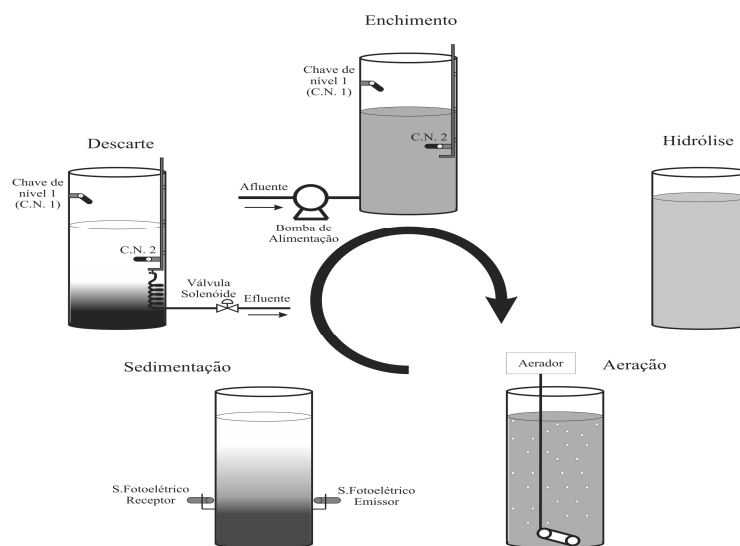


Figura 2: Diagrama representativo do ciclo de funcionamento dos RBS's.

Estas cinco etapas são assim definidas:

- **Enchimento** - etapa em que o sistema recebe o esgoto a ser tratado, previamente armazenado no tanque de equalização.
- **Hidrólise** - etapa em que ocorrem reações bioquímicas de quebra de cadeias polifosfáticas, promovendo uma ação microbiana posterior mais eficiente.
- **Aeração** - etapa em que é feita a transferência de oxigênio para o licor misto através do acionamento dos aeradores, promovendo a oxidação da matéria orgânica pela ação das bactérias, bem como a oxidação de amônia para nitrato.
- **Sedimentação** - etapa em que ocorrem dois processos simultaneamente: (1) clarificação, ou seja, separação das fases sólida e líquida do licor misto, necessária para a produção de um efluente livre de sólidos e (2) adensamento, que é o aumento da concentração dos sólidos em suspensão durante a decantação (HAANDEL; MARAIS,1999).
- **Descarte de efluente** - etapa final do ciclo de tratamento, consiste na retirada do efluente tratado, armazenando-o no recipiente de descarte.

Sendo assim o trabalho de automação do RBS, permitiu a realização de todas as etapas de forma automática. O objetivo primordial deste trabalho foi a instalação de um conjunto de sensores, atuadores e uma entidade central de controle que permitisse o acompanhamento da operação do processo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado para o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) da cidade de Campina Grande. O sistema de automação projetado para plantas de tratamento de esgotos, e baseada no uso de um controlador lógico programável (CLP), que a partir da combinação de *hardware* e *software* permite a realização tanto do controle, como da aquisição de dados. Os CLP's permitem a execução sequencial de atividades bem definidas, premissa para a operação correta dos sistemas de bateladas sequenciais (BARBOSA, 2008). Ilustra-se na Figura 3, a principais partes que compõem o sistema de automação do RBS.

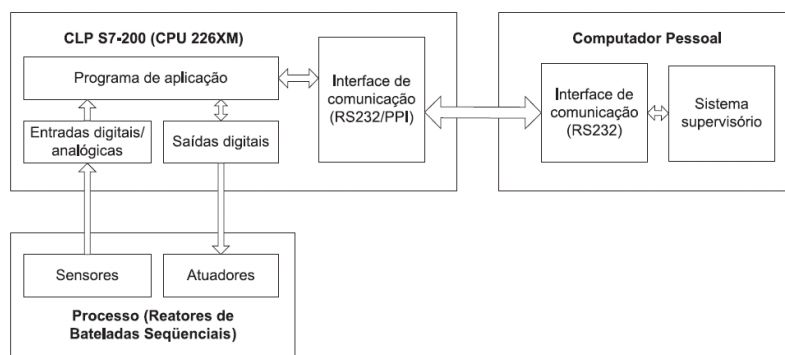


Figura 3: Diagrama de blocos do sistema de automação.

Instrumentação Utilizada

Dentre os equipamentos utilizados na automação dos RBS's, encontram-se sensores fotoelétricos e de oxigênio dissolvido, válvulas solenóides, chaves de nível, bombas de acionamento trifásico e monofásico, aeradores monofásicos e bomba peristáltica.

O equipamento responsável pelo monitoramento e controle da instrumentação citada é o CLP da família S7-200, CPU 226XM, fabricado pela SIEMENS. Este CLP enquadra-se na categoria de micro CLP, podendo chegar a 248 Entradas/Saídas, ou 7 módulos de expansão. Além disso, também foi utilizado um conjunto de equipamentos para a medição de oxigênio dissolvido, trata-se da sonda de OD TriOxmatic 690-7 e do analisador de Oxigênio QuadroLine Oxi 296, ambos de fabricação da empresa alemã WTW.

Os sensores fotoelétricos (PMB-15MDN) são do tipo barreira com uma sensibilidade de 15 m, fabricados pela Metaltex.

As válvulas solenóides utilizadas são fabricadas pela Ascoval, classificadas com de duas vias, para uso geral, com tensão de alimentação de 24 V e com 3/8 de polegadas.

A bomba peristáltica utilizada possui vazão de 1,6 L/min, tendo sido fabricada especificamente para realização deste trabalho de automação.

Diagramas dos Processos

Os diagramas dos processos, apresentados nas Figuras 4 e 5, são representados por um conjunto de equipamentos mecânicos e elétricos, citados na seção anterior, a serem controlados e/ou monitorados.

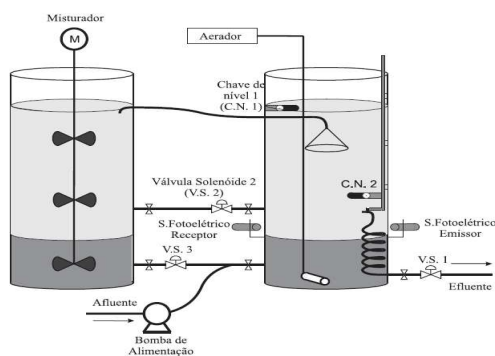


Figura 4: Diagrama do RBS1

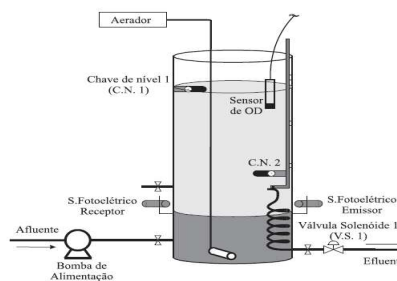


Figura 5: Diagrama do RBS2

Como pode ser observado nas Figuras 4 e 5, cada reator é dotado de duas chaves de nível, uma responsável por monitorar o nível superior e outra o nível inferior. A chave de nível inferior está fixada em uma haste móvel, o que permite definir volumes diferenciados a serem tratados de acordo com o andamento do trabalho.

Existe também um conjunto fotoelétrico situado logo abaixo da chave de nível inferior, que indica quando ocorre a sedimentação do lodo ativado, permitindo desta forma que o CLP execute a

operação seguinte (descarte de efluente). Para esta etapa, é utilizada uma válvula solenóide, cujo ponto de descarte de efluente se encontra também fixado na haste móvel.

Já para a alimentação do sistema, é usada uma bomba elétrica trifásica, no caso do RBS1, e duas bombas dosadoras monofásicas, para o RBS2. Existe ainda um aerador, utilizado na aspersão de oxigênio em cada um dos sistemas. O sistema de automação possui também um sensor de oxigênio dissolvido (OD), o qual pode ser utilizado em qualquer um dos reatores.

Como pode-se observar, no diagrama que representa o RBS2 (Figura 5) existe apenas uma única unidade de tratamento. Este diagrama representa a estrutura clássica de um reator de bateladas, que é composto por apenas uma única unidade onde são realizadas todas as etapas do tratamento de maneira sequencial. Esse tipo de sistema promove os processos de nitrificação e desnitrificação de maneira alternada quando da ocorrência da etapa de aeração e hidrólise, respectivamente.

A partir do diagrama que representa o RBS1 (Figura 4), observa-se que este sistema possui um segundo reator conectado ao RBS através de três conexões hidráulicas, sendo duas delas comandadas por válvulas solenóides. Isto permite que algumas configurações diferenciadas para o processo possam ser exploradas.

Para um melhor entendimento do funcionamento do sistema, encontra-se ilustrado na Figura 6 o diagrama de estados simplificado dos RBS's.

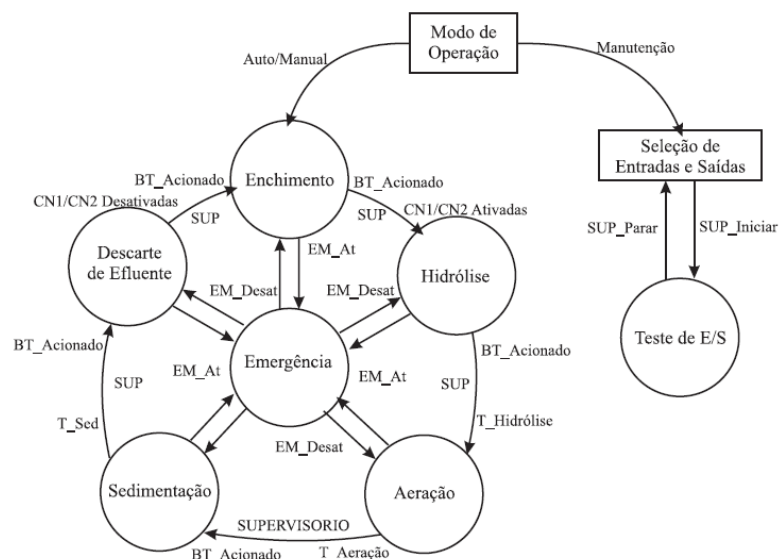


Figura 6: Diagrama de estados dos RBS's.

O primeiro passo para o funcionamento do sistema, consiste em definir qual o modo de operação a ser executado, cuja escolha é feita através de uma chave comutadora, localizada no painel frontal do quadro de acionamentos. Selecionado o **Modo de Operação** (automático ou manual), o sistema inicia o ciclo de tratamento a partir da etapa de **Enchimento**, quando o CLP executa o acionamento da bomba de alimentação, energizando o contator fisicamente conectado a mesma. Nesta etapa, o programa em execução no CLP monitora as entradas referentes às chaves de nível (C.N. 1 e C.N. 2) mantendo o sistema na etapa de **Enchimento**.

Ao escolher o modo manual de operação das plantas, faz-se necessário que o operador pressione o botão de transição, representado na Figura 6 pela transição **BT_Acionando**, para que o CLP execute a etapa seguinte, independente do estado em que se encontra o sistema. Assim, estando as duas chaves de nível ativas, o CLP desliga a bomba de alimentação e fica aguardando um comando do operador para executar a etapa seguinte (hidrólise).

Além disso, basta que a C.N. 2 esteja ativa, ou seja, existe no RBS um nível mínimo de esgoto a ser tratado, para que o sistema passe para a etapa seguinte, mediante comando do operador. Isto



permite que, ao executar testes no sistema, o operador não tenha que aguardar até o final da etapa de enchimento para prosseguir com a experimentação.

Operando no modo automático, ao verificar que as duas entradas digitais associadas às chaves de nível estão ativas, o CLP passa para a etapa seguinte (**Hidrólise**) sem a intervenção do operador.

Na etapa seguinte (**Hidrólise**), o CLP não aciona nenhum equipamento, exceto no sistema RBS1, onde o misturador entra em operação. Esta etapa é associada a um temporizador (**T_Hidrólise**) regressivo implementado no CLP e o sistema então passa para a próxima etapa ao término deste tempo, quando operando no modo automático. Quando no modo manual, o sistema passa para a próxima etapa apenas quando recebe o comando do operador (**BT_Acionado**).

Já na etapa de **Aeração**, o CLP é responsável pelo acionamento do aerador e, para o sistema RBS1, também é acionado o misturador. Além disso, conforme as configurações estabelecidas para o processo, pode-se fazer o acionamento das válvulas V.S.2 e V.S.3 (Figura 4) de maneira independente, garantindo, em determinadas situações, que o licor misto transferido para o reator de recirculação, em decorrência do seu arraste através do funil instalado no RBS1, passe por toda a zona não-aerada até retornar ao RBS. Esta etapa é finalizada quando um temporizador atinge o tempo estabelecido e aciona a transição **T_Aeração** ou o botão de transição é pressionado (**BT_Acionado**).

A etapa seguinte é a etapa de **Sedimentação**. O CLP monitora o estado do conjunto fotoelétrico (Figura 5), cuja saída do receptor muda de estado em virtude da recepção do feixe de luz infravermelho transmitido pelo emissor através do RBS. Isto significa que o lodo ativado decantou e o sistema vai para a última etapa do processo - descarte de efluente. Eventualmente, o volume de lodo contido no RBS pode sofrer uma expansão. Neste caso, torna-se necessário ajustar a altura do conjunto fotoelétrico de modo a não comprometer a indicação de ocorrência da sedimentação. Ocorrerá uma transição automática caso um temporizador finalize sua contagem gerando uma transição (**T_Sed**) para a etapa seguinte.

Na última etapa do ciclo de tratamento - **Descarte de Efluente**, o CLP aciona V.S.1, que, através da ação da gravidade, esvazia todo efluente do reator, deixando apenas o lodo para a próxima batelada. O término desta etapa se dá a partir do momento em que a chave de nível inferior indica que o nível de líquido no RBS está abaixo do estabelecido, ou seja, o efluente a ser descartado já se encontra no recipiente de descarte.

Ao término destas cinco etapas, um novo ciclo de tratamento é iniciado automaticamente. Caso o sistema esteja operando no **Modo Manual**, é necessário um comando do operador através do botão de transição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A operação dos reatores de bateladas seqüenciais foi executada sempre mantendo a idade de lodo igual a 15 dias, pois esta idade de lodo favorece não somente a formação de um lodo com grânulos macroscópicos, permitindo uma característica de boa sedimentabilidade, mas também a ocorrência do processo de nitrificação.

Finalizando as experimentações, o RBS1 foi operado em três situações diferentes:

- O oxigênio era transferido para o RBS a uma taxa constante de aproximadamente 8 L/min, sem que houvesse nenhum tipo de controle da concentração de OD no reator.
- A taxa de oxigênio injetado no processo foi elevada para 16 L/min, mas ainda sem o controle implementado, como forma de verificar a resposta do sistema a concentrações elevadas de OD (em torno de 6 mgO₂/L).
- Foi então aplicado o controle sobre a concentração de OD no RBS, conforme mostrado na Figura 12.

Dentre os resultados obtidos, os gráficos obtidos representam a concentração de OD no reator, bem como mostram as mudanças de etapas do sistema no decorrer de sua operação. A amostragem dos dados obtidos em cada gráfico foi de, 1 amostra a cada 5 segundos.

O gráfico apresentado na Figura 8 representa as mudanças de estados do RBS2 durante 24 h de operação. Esse tipo de gráfico obedece a seguinte notação: 0 -- enchimento, 1 -- hidrólise, 2 -- aeração, 3 -- sedimentação, 4 -- descarte, 5 -- sistema parado e 6 -- parada de emergência.

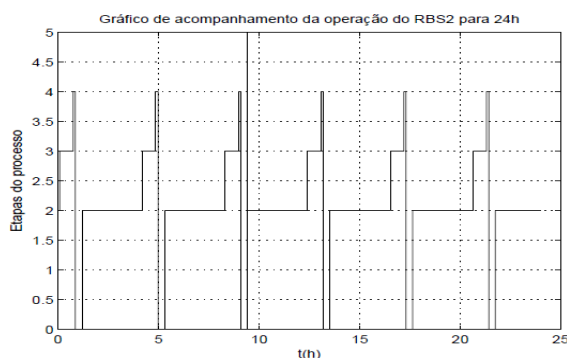


Figura 8: Gráfico de operação do RBS2.

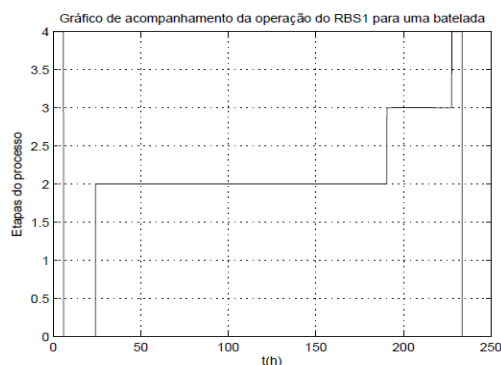


Figura 9: Gráfico que representa as mudanças de etapa de um ciclo de operação do RBS1.

A partir da Figura 8, é possível identificar o momento em que o sistema passa de uma etapa para outra. No caso da ocorrência de uma parada de emergência, pode-se verificar em que momento isto ocorre, facilitando desta forma uma investigação mais rápida e precisa das causas do problema que ocasionaram tal parada.

A Figura 9 representa as mudanças de etapa de um ciclo de operação do RBS1, sendo considerado um tempo de aeração de 3 horas. Pode-se verificar os momentos exatos em que o RBS1 muda de estado durante a execução de um ciclo de tratamento, o que facilitou as análises de desempenho do sistema, de acordo com os parâmetros estabelecidos durante a pesquisa, como por exemplo, o tempo de aeração.

Na Figura 10, é apresentado o gráfico da concentração de oxigênio dissolvido durante 24 horas de monitoramento do RBS2.

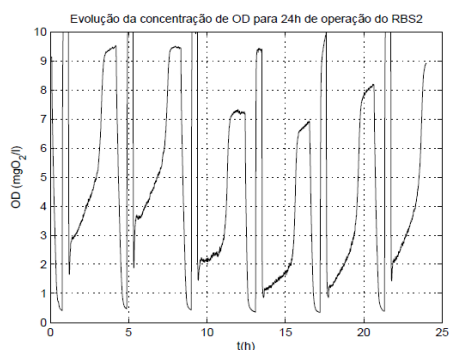


Figura 10: Gráfico da concentração de OD no RBS2.

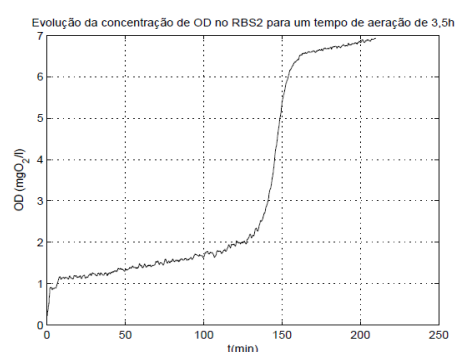


Figura 11: Gráfico que representa a concentração de OD durante a aeração do RBS2.

A partir da Figura 10, observa-se os momentos em que o sistema muda de etapa, sendo a concentração de OD máxima nas etapas de descarte e enchimento, quando o sensor encontra-se exposto ao ar. Já na etapa de sedimentação, o OD atinge seu nível mais baixo, pois o sensor ainda encontra-se em contato com o licor misto, mas não há transferência de oxigênio para o meio. Na etapa de aeração, observa-se claramente a dinâmica da concentração de OD, mediante ação das bactérias no tratamento do esgoto.

Na Figura 11 é apresentado o gráfico do comportamento da concentração do OD, apenas durante a etapa de aeração do RBS2 em um ciclo de operação. Pode-se destacar três regiões características inerentes a este tipo de processo (lodo ativado em regime de bateladas): no início da aeração percebe-se um crescimento rápido da concentração de OD; em seguida o OD apresenta uma trajetória de crescimento suave, neste caso o oxigênio que é transferido ao sistema é consumido pelas bactérias que formam a biomassa; por fim, o OD tende a saturação.

O gráfico apresentado na Figura 12 representa a dinâmica do OD no RBS1 mediante a aplicação do controle sobre esta variável. Como pode ser observado na Figura 11, o controle efetuado sobre o oxigênio dissolvido era do tipo *on/off*, cuja taxa de OD no licor misto era mantida dentro de uma faixa pré-estabelecida.

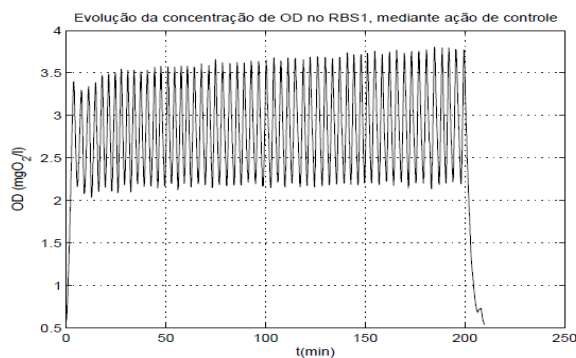


Figura 12: Gráfico que representa variação da concentração de OD durante a aeração do RBS1, mediante ação de controle.

6. CONCLUSÕES

A partir das informações apresentadas neste capítulo, observa-se que o sistema de bateladas seqüenciais, atrelado a um sistema de automação robusto e adequado, surge como ótima alternativa para construção de novas estações de tratamento de esgotos, haja vista a sua maior flexibilidade operacional frente aos sistemas convencionais, além de requisitos de área para sua construção inferiores aos sistemas de fluxo contínuo, em virtude da execução de todas as etapas do processo de tratamento em uma única unidade.

O sistema de armazenamento dos dados executado pelo CLP-Supervisor é importante para a determinação de desempenho do sistema, haja vista que informações como duração de cada etapa do processo e dinâmica da concentração de oxigênio dissolvido são primordiais para se verificar o comportamento do sistema e, caso necessário, quais mudanças deveriam ser promovidas para se obter melhores resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e FINEP pelo apoio dado ao Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB.

REFERÊNCIAS

- AG, S. **SIMATIC S7-200 Programmable Controller System Manual**. Nuernberg, Germany, set. 2007.
- BARBOSA, A. O. **Automação de Reatores de Bateladas Seqüenciais para o Tratamento de Esgotos Domésticos Visando a Remoção de Matéria Orgânica e Nutrientes**. XVII Congresso Brasileiro de Automática, set. 2008.
- HAANDEL, A. C. van; MARAIS, G. **O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado. Teoria e Aplicações para Projetos e Operação**. Campina Grande, Paraíba: Epgraf, 1999.
- LIRA, V. V. **Automação de um Sistema de Tratamento de Esgotos Baseado no Processo de Lodo Ativado**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Brasil, jul. 2001.
- WTW. D. O. **Probe TriOxmaticr 690 Operating Manual**. Germany, maio 2003.
- WTW. **Oxi Monitors: Oxi170 e Oxi296 Operating Manual**. Germany, nov. 2004.