

Automatização de um reator de batelada sequencial (RBS) para aplicação do processo de nitrificação parcial

Automation of a sequential batch reactor (SBR) for the partial nitrification process application

Alessandra dos Santos Misael¹, Cecília Paulina Johann Dammann², Julia Echer Serpa³
Alice Chapietti Bolsan⁴ Marina Celant De Prá⁵

RESUMO

O processo biológico de nitrificação parcial (NP) consiste na conversão parcial de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT), um poluente significativo, em nitrito. Um processo economicamente mais viável comparado aos tratamentos convencionais para remoção de nitrogênio em efluentes. A aplicação da NP possibilita a implementação de tratamentos avançados que utilizam o nitrito como aceptor final de elétrons em suas reações, como o ANAMMOX e a desamonificação, permitindo alcançar o padrão de descarte de efluentes regulamentado pela legislação ambiental. As estratégias mais consolidadas para alcançar a NP, consistem em favorecer a atividade das Bactérias Oxidadoras de Amônia (BOA) e evitar a atividade de Bactérias Oxidadoras de Nitrito (BON). No entanto, esse equilíbrio bioquímico não é facilmente implementado, exigindo um restrito controle do processo sobre as condições operacionais impostas. O objetivo do presente trabalho consiste em automatizar um Reator de Batelada Sequencial (RBS) através do desenvolvimento de um protótipo com base em Arduino, para aplicação e controle do processo de NP tratando efluentes para remoção de nitrogênio. O sistema automatizado foi realizado com êxito, obtendo maior controle, eficiência e praticidade sobre o sistema operacional, possibilitando a implementação em um sistema real.

PALAVRAS-CHAVE: arduino; remoção biológica de nitrogênio; tratamento de efluentes.

ABSTRACT

The biological process of partial nitrification (PN) consists of the partial conversion of Total Ammoniacal Nitrogen (TAN), a significant pollutant, into nitrite. It is an economically more viable process compared to conventional treatments for nitrogen removal in effluents. The application of PN enables the implementation of advanced treatments that use nitrite as the final electron acceptor in their reactions, such as ANAMMOX and deammonification, allowing compliance with effluent disposal standards regulated by environmental legislation. The most established strategies to achieve PN involve promoting the activity of Ammonia-Oxidizing Bacteria (AOB) while avoiding the activity of Nitrite-Oxidizing Bacteria (NOB). However, this biochemical balance is not easily implemented and requires strict control of the process under imposed operational conditions. The objective of this study is to automate a Sequential Batch Reactor (SBR) by developing a prototype based on Arduino for the application and control of the PN process in treating effluents for nitrogen removal. The automated system was successfully implemented, providing greater control, efficiency, and convenience in the operational system, enabling its implementation in a real-world system.

KEYWORDS: arduino; biological nitrogen removal; wastewater treatment.

¹ Bolsista do PIBIT. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: amisael@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4390504568997058.

² Estudante do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: ceciliadamann@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3591393401900399

³ Bolsista do PIBIC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: juliaserpa@alunos.utfpr.edu.br ID Lattes: 8777813902793922

⁴ Discente no Programa de Pós Graduação em Sustentabilidade Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: alice1bolsan@gmail.com. ID Lattes: 2213588017689303.

⁵ Docente no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia - PPGBIOTEC-DV/PG. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: marinapra@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2213588017689303.

INTRODUÇÃO

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, através da resolução CONAMA Nº 430/2011 regulamenta os padrões e as condições às quais os efluentes devem atender para que possam ser lançados em corpos hídricos. Em meio aos nutrientes presentes nos efluentes, têm-se destaque para Nitrogênio Amoniacal Total (NAT), existente em grandes quantidades em resíduos agropecuários e agroindustriais. Para atender a regulação estabelecida, a concentração de NAT deve estar abaixo de 20 mg/L (CONAMA, 2011).

Os processos avançados de remoção de nitrogênio tem por objetivo aumentar a eficiência e reduzir custos e, dentre as tecnologias existentes destacam-se os processos de desamonificação, utilizando bactérias com atividade anammox, como: ANAMMOX® (STROUS *et al.*, 1998), DEMON® (WETT B *et al.*, 2015), NITRAMMOX® (DE PRÁ *et al.*, 2021; VENTURIN, 2022), dentre outras. Uma característica em comum nesse segmento de tratamentos, é que todos os processos utilizam o nitrito comoceptor final de elétrons, ou seja, garantir sua geração é uma etapa importante para a estabilidade das tecnologias.

O processo de nitrificação parcial (NP), que converte parcialmente NAT a nitrito, é essencial tendo em vista sua importância em processos avançados. Esse processo ocorre por meio de culturas mistas enriquecidas de bactérias oxidadoras de amônia (BOA), para isso é necessário que ocorra a inibição das bactérias oxidadoras de nitrito (BON), que apesar de existirem em simbiose com as BOA, devem ter sua atividade desfavorecida, evitando a oxidação do nitrito a nitrato. Parâmetros como Amônia Livre (AL), Ácido Nitroso Livre (ANL), tempo de retenção hidráulica (TRH) e oxigênio dissolvido (OD), podem ser utilizados neste aspecto no controle operacional para atingir este objetivo (ANTHONISEN *et al.*, 1976).

Outro parâmetro de destaque é a configuração de reator que será utilizado para aplicação do processo de NP, visto sua influência na eficiência da remoção de nitrogênio. Neste sentido, reatores em Batelada Sequencial (RBS) apresentam vantagens e são amplamente utilizados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs). Eles possibilitam aplicação de alta concentração de nitrogênio (N), têm um baixo custo de manutenção, evitam o *washout* da biomassa, além de operarem em ciclos e serem altamente versáteis. Entretanto, a operação de RBS para a NP pode se tornar complexa, uma vez que as tarefas executadas de forma manual demandam tempo e precisão. Além disso, controladores lógicos programáveis (CLP) que permitiriam automatização dos sistemas, costumam ser onerosos e de difícil aquisição.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema automatizado com base em Arduino, para um RBS, viabilizando sua operação sem requerer a intervenção humana, para aplicação de processos de nitrificação parcial no tratamento de efluentes agropecuários e agroindustriais.

METODOLOGIA

O Laboratório de Biotecnologia Ambiental e Alimentos (LABIA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos (UTFPR-DV), foi o local de desenvolvimento deste trabalho.

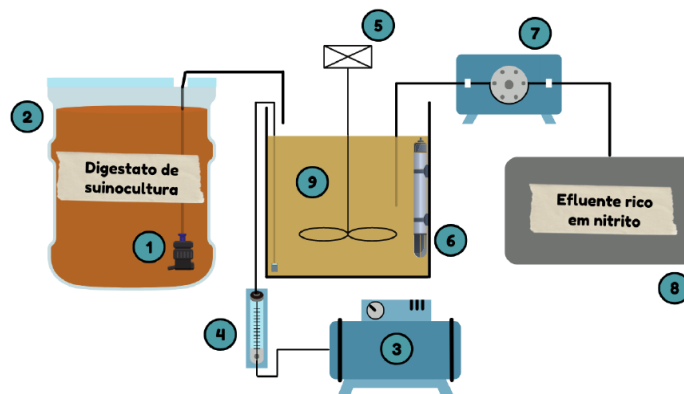
SISTEMA EXPERIMENTAL

Para realizar os testes com o dispositivo desenvolvido, foi montado um reator RBS com volume útil de 4 litros, conforme ilustra a Figura 1. Todas as simulações foram realizadas utilizando digestato da suinocultura e definidas condições de operação para aplicação de processos de NP. A operação do reator ocorreu em ciclos, com controle de temperatura, aeração intermitente e agitação contínua. O ciclo completo possuía duração de 6 horas, composto pelas seguintes etapas: alimentação, agitação com aeração intermitente, decantação e descarte. Os ciclos se repetiam continuamente para avaliar possíveis distúrbios de operação ou falhas técnicas. Em específico de cada etapa, o digestato era captado por uma bomba que alimentava o reator, após completar 2 litros, um agitador mecânico era ativado, em conjunto com a aeração a partir de um compressor de ar (BigAir, modelo A230) e uma pedra porosa, utilizando-se de um rotâmetro para controlar a vazão de ar, por um período de 5 horas. Durante essa etapa, um aquecedor de aquário era mantido ativado para manutenção da temperatura adequada.

Após o tempo de reação, o reator permanecia em repouso por 40 minutos, para a decantação da biomassa. Uma bomba peristáltica Milan (modelo 202) era acionada para o descarte de 2 litros do sobrenadante. As fases de alimentação e descarte, possuíam duração de 20 minutos. O tempo de aeração foi otimizado gradualmente durante o experimento, com o intuito de manter baixos os níveis de OD no reator. Com o intuito de facilitar essas operações e garantir o desempenho adequado, todos os equipamentos acima mencionados foram controlados por Arduino.

Figura 1 – Esquemático do sistema experimental

No qual: 1. Bomba de recirculação para alimentação 2. Reservatório de digestato usado para alimentação 3. Compressor de ar 4. Rotâmetro 5. Agitador mecânico 6. Aquecedor 7. Bomba peristáltica de descarte 8. Reservatório de armazenamento de efluente 9. RBS

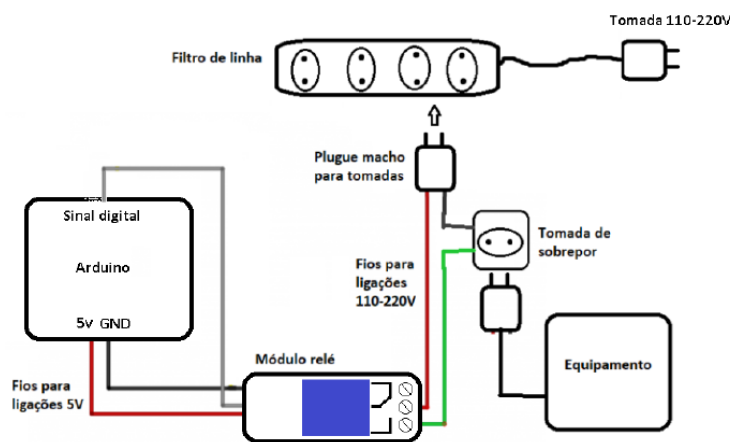


Fonte: DAMMANN (2023).

PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO E MONTAGEM

O dispositivo escolhido para aprimorar o controle do sistema operacional de forma mais precisa e eficiente foi o Arduino Mega 2560, que possui memória integrada, o que se mostrou necessário devido à complexidade do código e considerando possíveis aprimoramentos a serem realizados. Os equipamentos eram controlados a partir do uso de módulos relés conectados nas saídas digitais do Arduino, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Representação das conexões físicas dos equipamentos no Arduino



Fonte: DAMMANN (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

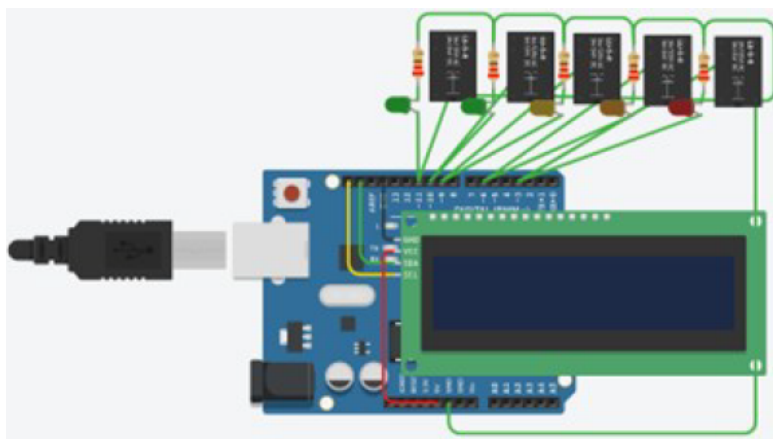
AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO

A construção de um sistema acoplado aos equipamentos, utilizando o Arduino MEGA possibilitou que o reator operasse de forma independente, com vantagens de praticidade, versatilidade e custo benefício.

A adição de relés de contato com tensão nominal de 127V e 220V permitiram que, ao receber uma corrente de acionamento das portas lógicas do Arduino, fechassem o contato de alimentação, fazendo com que os equipamentos liguem. O acionamento das portas lógicas ocorreu através da programação, quando a porta lógica acionava o relé, o equipamento era acionado. Desenvolveu-se também, um esquema com plugues fêmeas, que se conectam aos equipamentos (para evitar danificar a fiação original dos equipamentos), e ligados a esses estavam plugues machos que foram cortados e conectados aos relés dos equipamentos. Para ilustrar a etapa do ciclo no qual o reator se encontrava, o sistema possuía um *display* LCD 16x2 com um módulo I2C. Os equipamentos que foram automatizados com o Arduino a partir deste esquema descrito, foram: o aquecedor para controle de temperatura; a bomba de alimentação; a bomba de descarte; o compressor de ar para aeração; e o agitador mecânico para a agitação do

reator. Na figura 3, desenvolvido no simulador *Thinkercad*, o sistema é representado com cinco ligações, uma para cada equipamento.

Figura 2 – Esquemático eletrônico Thinkercad



Fonte: DAMMANN (2023).

PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA AUTOMATIZADO

O Arduino MEGA foi construído com saídas digitais suficientes para comportar o projeto e memória integrada, capaz de suportar possíveis atualizações no sistema operacional e, futuramente, possibilitar a integração de um sistema para controle a distância do mesmo. Considerando-se possíveis falhas na rede elétrica, foi adicionada uma memória não volátil EEPROM, que ficou armazenada no sistema físico do Arduino, permitindo que fossem salvos a cada 10 minutos os dados de operação. Assim, quando ocorreram instabilidades elétricas, o sistema foi capaz de se religar automaticamente, retornando a etapa do ciclo em que havia sido interrompido. Esse sistema de salvamento de dados foi essencial para o funcionamento correto do sistema reacional.

Por fim, foi também adicionado à programação um ponto de interesse, que permitiu ajustar os parâmetros de funcionamento conforme a necessidade. Quando esse ponto de interesse foi executado, permitiu que a memória fosse reescrita novamente e o ciclo então se iniciou do zero.

CONCLUSÃO

A automatização do reator foi bem sucedida e implementada com sucesso, possibilitando ciclos curtos e a manutenção da operação de forma independente, de todas as fases, mesmo em situações de instabilidade elétrica, devido ao salvamento de dados a cada 10 minutos do processo. A programação desenvolvida também permitiu a realização de ajustes operacionais durante o experimento, através do ponto de interesse na programação.

O sistema automatizado está pronto para ser aplicado em escala real a um processo biológico de NP, passo que será realizado nas próximas etapas do projeto, bem

como o possível registro de software do mesmo. Pode-se ainda integrar um sistema de controle à distância para este dispositivo.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento e bolsa PIBIT/UTFPR concedida. À UTFPR, campus Dois Vizinhos, e ao Laboratório de Biotecnologia Ambiental e Alimentos (LABIA), por nos oferecer apoio e estrutura para o desenvolvimento de todas as atividades. A toda equipe GETRAT que nos auxiliou constantemente. Em especial, a Prof^ª. Dr^ª. Marina Celant de Prá, pelo apoio, incentivo e ensinamentos.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ANTHONISEN, a C. *et al.* Inhibition of nitrification and nitrous acid compounds. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, v. 48, n. 5, p. 835–852, 1976

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18th. ed. [s.l: s.n.]

CATALDO, D. A. *et al.* Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, n. 1, p. 71–80, 1975.

DAMMANN, C. P. J. **Automatização de um reator de batelada sequencial (RBS) para aplicação do processo de nitrificação parcial utilizando digestato da suinocultura**. 2023. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2023.

DE PRÁ, M. C. *et al.* Novel one-stage reactor configuration for deammonification process: Hydrodynamic evaluation and fast start-up of NITRAMMOX® reactor. **Biochemical Engineering Journal**, v. 171, p. 108005, jul. 2021. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369703X21000814>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

STROUS, M., Heijnen, J., Kuenen, J. *et al.* O reator descontínuo de sequenciamento como uma ferramenta poderosa para o estudo de microrganismos anaeróbicos oxidantes de amônio de crescimento lento. **Appl Microbiol Biotechnol** **50**, 589-596 (1998). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s002530051340>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

VENTURIN, B. Tratamento do digestato oriundo da digestão anaeróbia de efluente da suinocultura em uma unidade piloto do reator NITRAMMOX®. 2022. 1 **Universidade Estadual do Oeste do Paraná**, 2022.

WETT, B. *et al.* Expanding DEMON Sidestream Deammonification Technology Towards Mainstream Application. **Water Environ Res.** 2015 Dec;87(12):2084-9. doi: 10.2175/106143015X14362865227319. Acesso em: 05 set. 2023.