

PROJETO DE BIORREATOR PARA FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO UTILIZANDO FERRAMENTA COMPUTACIONAL.

EICKHOFF, Larissa Meincke^{1*}; ROMERO, Liege Gorgen²; DRASZEWSKI, Crisleine³; ABAIDE, Ederson⁴.

^{1,2,4} UNIJUÍ, Curso de Engenharia química, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rua do Comércio, nº 3000, Ijuí, RS, Brasil.

³ UFSM, Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Campus sede, Avenida Roraima, nº 1000, Santa Maria, RS, Brasil.

* EICKHOFF, Larissa Meincke: larissa_eickhoff@hotmail.com

RESUMO

O estudo realizado para projetar um bioreator para fermentação em estados sólido por meio de ferramenta computacional é originado pela necessidade de obter o crescimento de um microrganismo em matriz sólida pelo processo de fermentação em estado sólido. Para contruir o bioreator em escala industrial é preciso dimensionar em escala de bancada para teste e avaliar a temperatura para a obteção de um processo estável. Como ferramenta para projetar utilizou-se o CAD 3D, que permite verificar possíveis problemas e modificar a configuração do projeto para atender a demanda. Neste estudo de bioreatores verificou-se por meio dos parametros operacionais que o melhor projeto para a utilização na fermentação em estado-sólido é um bioreator de tambor com pás de agitação.

Palavras chave: Fermentação, Bioprodutos, Estado-sólido, Projeto, CAD

BIOREACTOR PROJECT FOR SOLID STATE FERMENTATION USING COMPUTATIONAL TOOL

ABSTRACT

The study was carried out to design a bioreactor for fermentation in solid state by means of a computational tool. It was originated by the necessity to obtain the growth of a microorganism in solid matrix by the process of solid state fermentation. In order to build a bioreactor in an industrial scale, it is necessary a bench scale design for testing and to

evaluate the temperature for obtaining a stable process. As a tool for designing, 3D CAD was used to check possible problems and to change the design configuration to meet the demand. In this study of bioreactors it was verified through operational parameters that the best design in use for solid-state fermentation is the rotating drum bioreactor with stirring paddles.

Keywords: Industry, Bioproducts, Solid state, Design, CAD

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, muitos fungos são produzidos para serem aplicados na indústria, principalmente, na indústria agrícola, já que constituem uma alternativa compatível com o ambiente. Um claro exemplo é o uso do fungo ascomiceto *Gibberella fujikuroi* que é utilizado para a produção do hormônio de crescimento vegetal ácido Giberélico (WERLE, 2017). Outro exemplo de fungo é o *Metarhizium anisopliae* empregado como pesticida biológico para controlar pragas como a Mahanarva posticata, a cigarrinha-da-folha que se dá nos cultivos de cana-de-açúcar (ALVES, 1990). Essa demanda justifica plenamente o investimento em novas tecnologias de produção de fitohormônios e bioinseticidas que possam torná-los mais acessíveis e eficientes.

Como principal alternativa para esses processos é possível citar a Fermentação em Estado Sólido (FES), que é caracterizada pelo crescimento do micro-organismo em uma matriz sólida onde há nutrientes e água adsorvidos junto à superfície da matriz. Este processo apresenta vantagens como reproduzir as condições naturais dos fungos, menores chances de contaminação, menores custos para a recuperação (DORAN, 1998). Assim, a ampliação da escala de produção passa, necessariamente, pelo desenvolvimento de biorreatores, em um primeiro momento em escala de bancada e, posteriormente, em larga escala.

O principal problema associado à ampliação de escala na FES é a remoção do calor gerado pelas atividades metabólicas dos microrganismos. As altas temperaturas nos processos fermentativos podem comprometer o metabolismo microbiano e desnaturar enzimas, de modo que o controle desta variável é chave para ter um processo estável e de produtividade elevada (RANI et al., 2009).

A FES demonstra grande potencial por apresentar grande produtividade volumétrica e baixos custos de operação. Porém existem grandes desafios para que esta rota de produção seja aplicada em grandes escalas. Devido à carência de estudos relacionados ao tema, este

trabalho teve como objetivo geral contribuir para o projeto de um fermentador rotativo por meio do desenho de biorreatores em diferentes configurações visando o crescimento de fungos micelares como o *Gibberella fujikuroi* e o *Metarhizium anisopliae* por FES para a produção de bioprodutos. Para atingir o objetivo proposto, o presente documento está dividido em três partes. Inicialmente um breve, mas fundamental referencial teórico, seguido da metodologia utilizada para o projeto em ferramenta computacional 3D. Na sequência é apresentado os resultados obtidos e as considerações finais.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Fermentação em estado-sólido

A Fermentação em estado-sólido é definida como a fermentação que ocorre sobre um material não solúvel que atue tanto como suporte físico, como fonte de nutrientes na ausência de água livre. A ausência de água livre faz com que nem todos os tipos de micro-organismos possam se desenvolver, sendo favorável ao desenvolvimento de fungos, leveduras e alguns tipos de bactérias (RODRIGUES, 2012).

Devido ao uso potencial de rejeitos sólidos provenientes de atividades agroindustriais, o interesse pelas pesquisas relacionadas à FES cresceu significativamente desde 1990 até o presente momento (WERLE, 2017). Processos por FES podem utilizar um meio poroso inerte, que serve como suporte a um substrato aquoso e, podem utilizar as próprias partículas como fonte de nutrientes aos microrganismos. As reações podem ocorrer na superfície das partículas ou em seu interior, definindo diversos mecanismos de transferência de massa. Parte do interesse científico e industrial pela FES é a possibilidade da utilização de resíduos sólidos como matriz porosa, agregando valor a estes rejeitos e minimizando problemas ambientais devido a descartes inadequados (RANI et al., 2009).

A FES apresenta uma série de vantagens sobre a Fermentação submersa (meio líquido), dentre as quais se destacam: maior simplicidade do processo, menor espaço requerido e menores custos de implantação e energéticos; maior concentração de produtos e conseqüentemente, maior rendimento; facilidade de extração do produto; maior disponibilidade de oxigênio; menor possibilidade de contaminação devido à menor atividade de água. Mas, existem também algumas desvantagens, como: heterogeneidade térmica do sistema, devido à menor capacidade de dissipação de calor através do meio poroso;

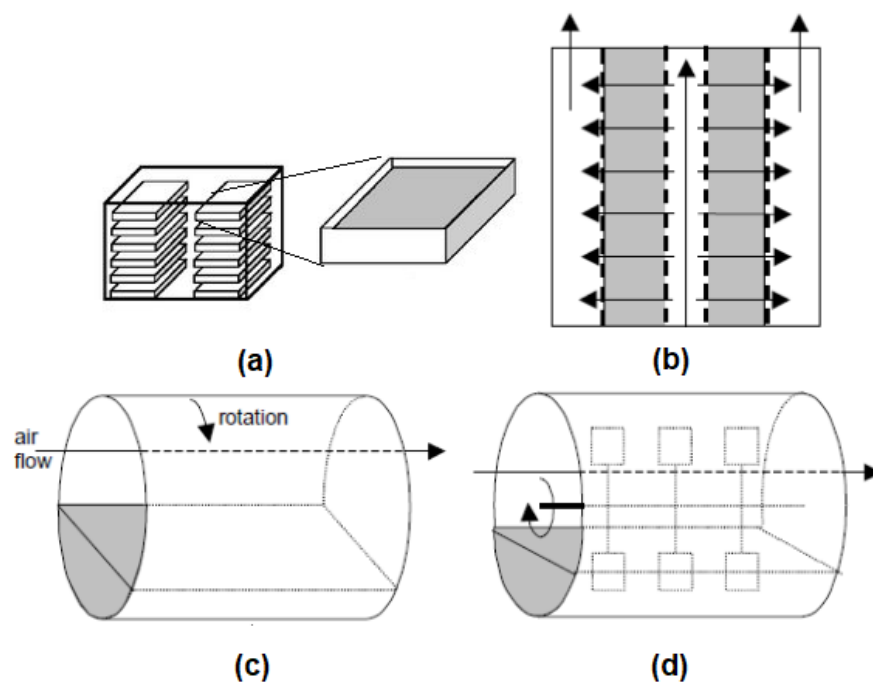
distribuição desigual de umidade; possibilidade de colapso da matriz porosa durante o processo, em decorrência do consumo de substrato; heterogeneidade dos produtos obtidos; dificuldade de se medir variáveis como pH, oxigênio dissolvido, quantidade de água e concentração do substrato no estado sólido (RODRIGUES, 2012).

2.1.2 Biorreatores para FES

Em todos os processos fermentativos, o biorreator, proporciona o ambiente para o crescimento e as atividades dos microrganismos, as quais causam a reação biológica (RODRÍGUEZ, 2005). Geralmente, os estudos de FES dividem-se em duas etapas básicas: a escala de frascos, onde as características metabólicas do fungo, sua adaptação ao substrato e as condições operacionais são exploradas, e a escala de reatores, que incorpora os conhecimentos adquiridos na escala de frascos e que propõe soluções tecnológicas para a produção em larga escala.

Superficialmente, os reatores para FES podem ser divididos entre os de leito estacionário e os de leito móvel como se ilustra na Figura 1.

Figura 1. Principais arranjos físicos para de biorreatores para fermentação em estado-sólido. (a) Reatores de bandejas; (b) Reator de leito fixo com coluna central de aeração; (c) Biorreator tipo tambor rotativo e (d) Biorreator tipo tambor com pás de agitação.



Fonte: Adaptado de MITCHELL, 2006.

O biorreator de bandejas tem a vantagem de as mesmas possuírem uma grande área superficial de contato para que os microrganismos consigam acessar oxigênio, levando em consideração que o meio de fermentação (sólido) deve ficar distribuído em várias bandejas rasas para facilitar o contato com o ar. A grande desvantagem desse tipo de biorreator é o fato de não ter como agitar o sólido. Os maiores inconvenientes desta configuração são a não homogeneidade térmica e a possibilidade de ocorrência de regiões com baixa aeração, afetando a taxa, a velocidade e a seletividade das reações (ASHLEY, et al. 1999)

O biorreator de leito fixo (na vertical) com coluna de aeração vertical tem a grande vantagem de o sólido com o meio de fermentação ter acesso a oxigênio com grande facilidade. A principal desvantagem dele é manter o meio sólido preso as malhas de retenção, uma vez que é uma pasta sólida (BORZANI, et al 2001).

O biorreator de tambor rotativo é um biorreator que possui excelentes características relacionadas à manutenção adequada dos parâmetros da fermentação, uma vez que a mistura do “bolo” de fermentação é adequada, tanto para o acesso ao oxigênio quanto para difusão dos nutrientes necessários a fermentação. Ar, preferivelmente saturado, percola longitudinalmente o tambor, de modo que o contato entre a fase sólida e a fluida é intenso, conferindo grande homogeneidade térmica a estes sistemas.

E por fim, o biorreator de tambor com pás tem muitas atribuições semelhantes ao biorreator de tambor rotativo, tendo com desvantagem o uso de pás que ocupam volume dentro do reator e que podem romper com as micelas de alguns tipos de microrganismos (fungos) (BORZANI, et al 2001).

Conhecendo os tipos de Biorreatores para FES é possível propor algumas configurações por meio do projeto em CAD 3D.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para cumprir com o objetivo de projetar um biorreator de fermentação em estado-sólido foi necessário o estudo dos principais fermentadores em estado-sólido e da maneira como cada um se arranja fisicamente (design).

Por meio de busca realizada nas literaturas de Mitchell *et al.* (2006) e Borzani *et al.* (2001) e ainda na plataforma Google, utilizando as palavras chaves biorreatores, fermentação, estado-sólido, parâmetros de fermentação, foi possível encontrar trabalhos que apresentavam os principais aspectos relacionados a biorreatores para fermentação em estado-sólido. Desta

forma foi possível conhecer os principais “designs” de biorreatores que poderiam ser adaptados à necessidade de projeto solicitada a empresa.

Alguns aspectos foram considerados para o projeto:

- Fermentador em estado sólido com capacidade de operação de 15 kg e massa microbial e substrato;
- Funcionamento em batelada, com operação em meio esterilizado para evitar contaminações por outros microrganismos;
- Sistema de medição de temperatura do meio;
- Sistema de medição da umidade do meio;
- Aeração do meio.
- O biorreator deve ser operado em sistema descontínuo (batelada) com inóculo por tanque, deve se ter em mente a sua sistematização geral de funcionamento: no instante inicial é adicionada uma massa de substrato previamente umidificada com a solução de inóculo que contém os microrganismos. No decorrer do processo nada pode ser adicionado, a não ser oxigênio, no caso de processos que necessitam aeração. Quando terminada a batelada, o biorreator é descarregado, sendo o meio fermentado (sólido umidificado) destinado a etapas de purificação. O biorreator é limpo e esterilizado para recebimento de outra carga.

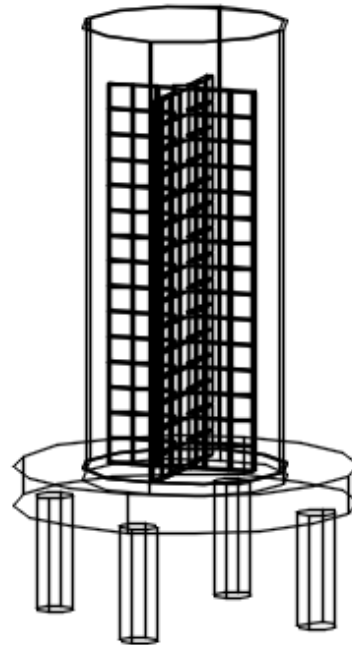
Assim, a partir destas especificações a serem cumpridas é possível propor algumas configurações de biorreatores em FES.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Biorreator de fermentação em estado-sólido de leito fixo com coluna de aeração

O desenho conceitual do biorreator de leito fixo com coluna de aeração é exposto na Figura 2. É possível observar por meio da Figura 2 que a malha, onde é retido o meio de fermentação sólido (pastoso) tem um eixo de sustentação no centro com extensões aonde são fixadas as redes metálicas de retém do material. Por dentro deste eixo deve se passar o oxigênio que entra no biorreator de modo a garantir a aeração do meio sólido fermentativo. Ainda, esse canal de circulação é utilizado para a passagem de vapor para previa esterilização do equipamento. O volume interno do equipamento foi dimensionado principalmente na relação da massa de meio sólido com o volume ocupado, densidade do leito. Sabendo que os substratos utilizados para fermentação em estado-sólido contribuem em maior parte para a densidade do leito, foi realizada uma breve análise na literatura dos principais substratos utilizados e da densidade de leito de cada.

Figura 2. Biorreator de leito fixo com coluna de aeração proposto.



Fonte: elaborado pelos autores (2019)

O volume interno do equipamento foi dimensionado principalmente na relação da massa de meio sólido com o volume ocupado, densidade do leito. Com estas informações (Tabela 1) foi calculado um valor médio para a densidade de leito e assim pode se relacionar a massa com o volume do reator.

Tabela 1 – Densidade bulk de alimentos sólidos.

Material	Densidade bulk (kg/m ³)
Feijão e soja inteiros	800
Café –grãos verdes	673
Café moído	400
Café – grãos torrado	368
Coco ralado	320-352
Espiga de milho	448
Grãos de milho	720
Leite em pó integral	320
Semente de mostarda	720
Farinha de trigo	770
Farinha de banana verde	687
Farinha de aveia	800-970

Fonte: Singh & Heldman (2009)

Foi acrescentado um fator de 35% nesse volume devido a massa sólida ter que estar retida na

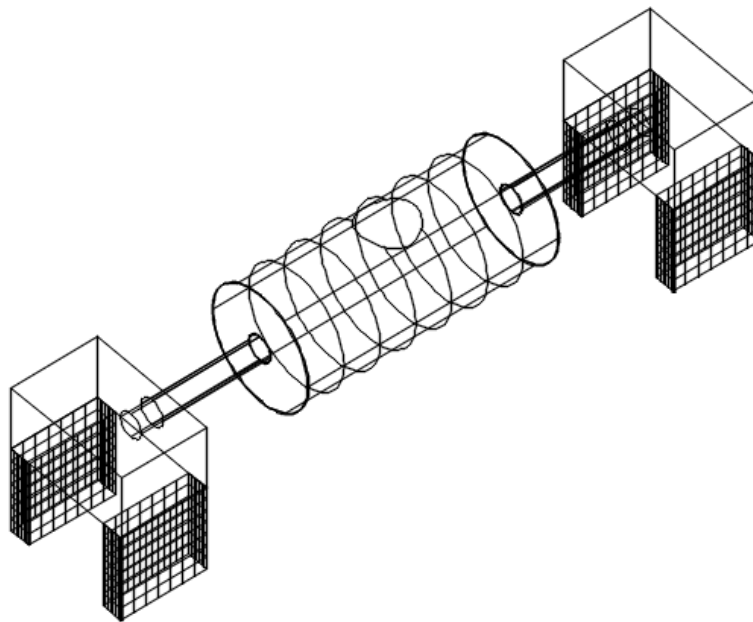
rede e assim ocupar maior volume a ser distribuída. Ainda com base na razão comprimento/diâmetro de 2, apontada pela literatura, foram dimensionados o diâmetro e o comprimento do biorreator (MITCHELL, 2006).

Na parte superior está a tampa do biorreator aonde é possível adicionar o material sólido. O volume interno de projeto do biorreator estipulado foi de 28 L.

2.3.2 Biorreator de fermentação em estado-sólido de tambor rotativo

O desenho conceitual do biorreator de tambor rotativo é exposto na Figura 3.

Figura 3. Biorreator de tambor rotativo proposto.



Fonte: elaborado pelos próprios autores (2019)

É possível observar que o rotor é soldado na carcaça do biorreator nas duas extremidades (biorreator na horizontal). O volume interno do equipamento foi dimensionado da mesma maneira que o volume interno do biorreator apresentado anteriormente, com exceção que para este não há redes que contêm o sólido pastoso, não necessitando assim de um fator de 35% a mais no volume. Assim o fator de aumento foi de apenas 15% do volume. Ainda com base na razão comprimento/diâmetro de 2, apontada pela literatura, foram dimensionados o diâmetro e o comprimento do biorreator.

Os orifícios na carcaça que estão nas partes de topo são para saída e entrada de vapor de água (para esterilização) e para saída e entrada de oxigênio de aeração. No projeto final,

deverá ter ainda dois orifícios que são para acoplar medidores de temperatura e de umidade. Os orifícios que estão na carcaça do biorreator são para entrada de vapor e oxigênio e para remoção de água que se forma no processo após o fim da batelada. O orifício maior na carcaça (Figura 3) tem a função de entrada e remoção de material sólido. O volume interno de projeto do biorreator estipulado foi de 24 L.

As duas configurações para o biorreator de FES apresentadas acima serviram para verificar alguns possíveis problemas e assim propor outra configuração. Os principais problemas a serem apontados são:

Para o Biorreator de fermentação em estado-sólido de leito fixo com coluna de aeração:

- Como medir a temperatura do sólido pastoso sendo que o sistema gira e dessa maneira danificaria a ponta do termopar;
- Como garantir que o material sólido a ser fermentado (pastoso) iria ficar fixo nas redes de contenção;
- Como adicionar o material sólido a ser fermentado de modo prático;
- Como coletar o material sólido fermentado para etapa de purificação;
- O volume do biorreator fica muito grande pois tem de cumprir com os 35% a mais devido ao modo como o sólido fica distribuído.

Para o biorreator de fermentação em estado-sólido de tambor rotativo:

- Como acoplar medidores de temperatura e umidade na carcaça sendo que esses instrumentos contem fiações elétricas (o giro provocaria a ruptura da fiação);
- O rotor central tem de sustentar um peso elevado da carcaça com todo o sólido a ser fermentado em seu interior o que acarretaria em um rotor de elevada resistência mecânica e um motor com elevada potência de giro;
- O peso que todo o equipamento e mais acessórios teriam implicaria em muita força sobre uma bancada de laboratório, seria necessário construir ainda uma estrutura metálica de sustentação.

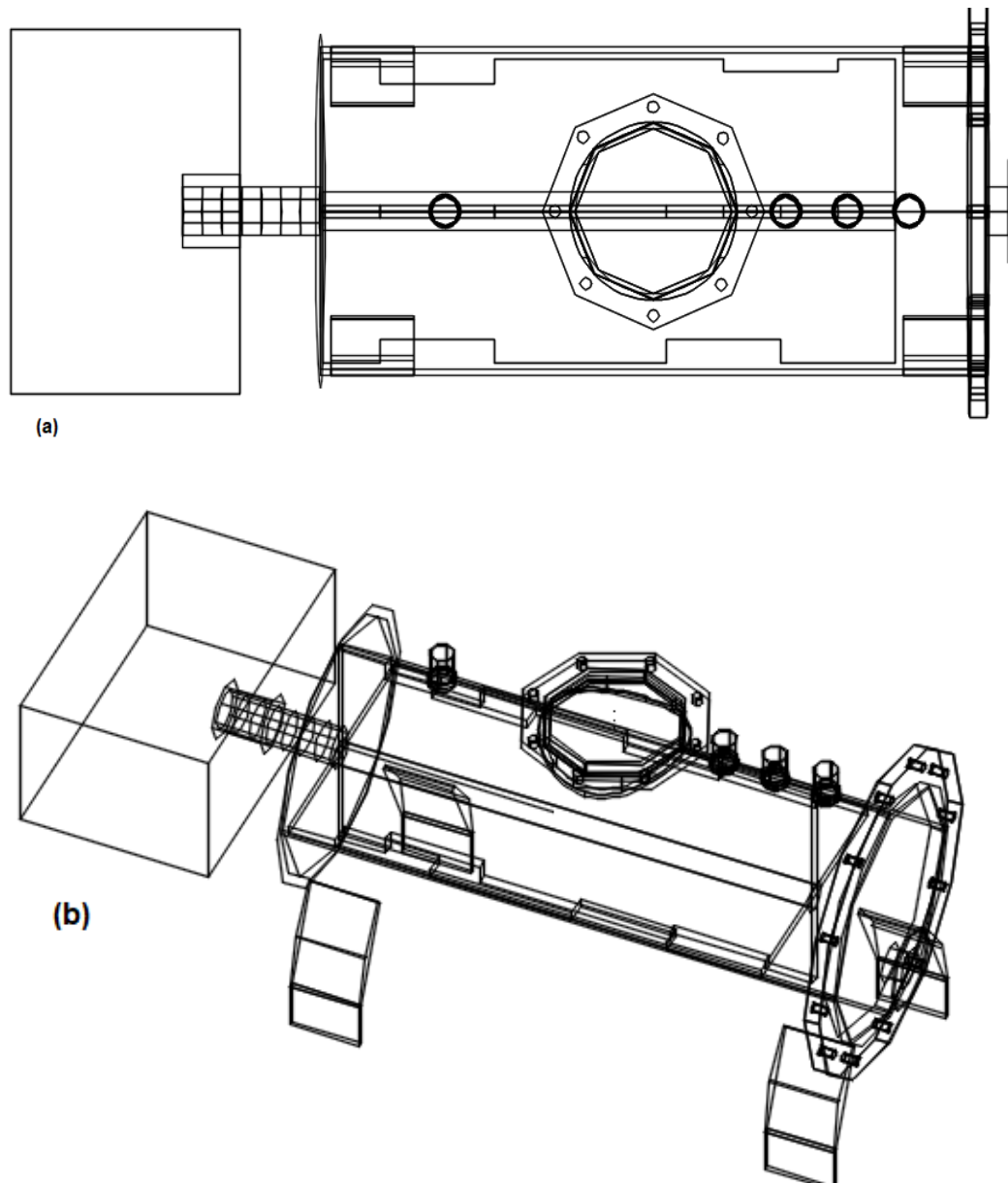
Com base nessas colocações e em outros aspectos foi possível então propor outro desenho do biorreator com outra configuração, que é o biorreator do tipo tambor com pás de

agitação.

2.3.3 Biorreator de fermentação em estado-sólido do tipo tambor com pás de agitação

Os desenhos conceituais do biorreator de tambor rotativo em uma vista de topo e uma vista diagonal são expostos na Figura 4

Figura 4. Biorreator de tambor com pás de agitação proposto.



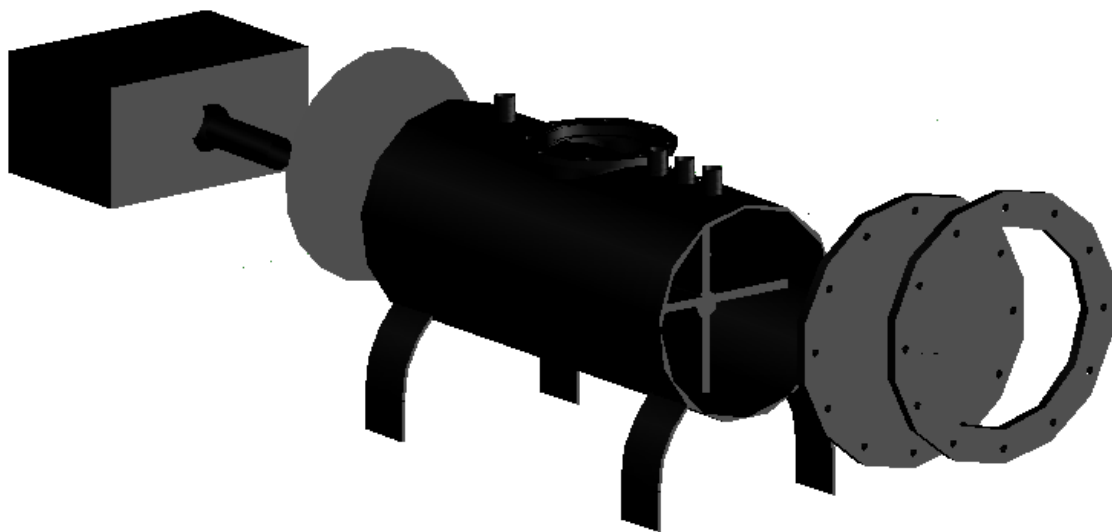
Fonte: elaborado pelos próprios autores (2019)

Os orifícios na carcaça que estão na parte superior são para entrada e saída de vapor de água (para esterilização) e para entrada e saída de oxigênio de aeração. Ainda são observados

dois orifícios que são para acoplar medidores de temperatura e de umidade. Os orifícios que estão abaixo na carcaça do biorreator para remoção de água que se forma no processo após o fim da batelada, e ainda para extração sólido-líquido dos compostos produzidos na fermentação para posterior etapa de purificação.

Na Figura 5 é exposto uma vista em 3D na forma sólida do biorreator para FES com tambor com pás de agitação.

Figura 5. Biorreator de tambor com pás de agitação proposto em forma realista.



Fonte: elaborado pelos próprios autores (2019)

Assim o biorreator de FES apresentado na Figura 5 é a opção de projeto a ser proposta para ser utilizado em processos que utilizem Fungos para a produção de um bioproduto.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o projeto adequado de um biorreator para fermentação em estado-sólido se mostra uma alternativa interessante quando se pretende viabilizar a produção de bioprodutos por meio de fungos micelares.

Os parametros operacionais a serem monitorados podem ser obtidos com melhor acesso utilizando um biorreator de tambor com pás de agitação.

REFERÊNCIAS

ALVES, S. B. **Controle microbiano de insetos**. In COCROMO, W. B. Manejo integrado de pragas. São Paulo: Ed. UNESP, 1990. p. 147 – 176.

ASHLEY, V. M.; MITCHELL, D. A.; HOWES, T. **Evaluating strategies for overcoming overheating problems during solid-state fermentation in packed bed bioreactors**. Biochemical Engineering Journal, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 141 – 150, 1999.

DORAN, P.M. **Princípios de ingeniería de los procesos**. 1º Ed., Editora Acribia, S.A, Zaragoza- ES, 1998

MITCHELL, D. A *et al.* **State Fermentation Bioreactors: Fundamentals of Desing and Operation**. Srngis, 2006.

RANI, R.; KUMAR, A.; SOCCOL, C. R.; PANDEY, A. **Recent advances in solid-state fermentation**. Biochemical Engineering Journal, Amsterdam, v. 44, p. 13–18, 2009.

RODRIGUES, C. Vandenberghe, L.P.S. Oliveira, J. Soccol, C.R, 2012. **New perspectives of gibberellic acid production: a review**. Crit. Ver. Biotechnol. 32, 263-273.

RODRIGUEZ, S.; SAROMÁN, M. **Application of solid-state fermentation to ligninolytic enzyme production**. Biochemical Engineering Journal, Amsterdam, v. 22, p. 211–219, 2005.

SINGH, R.; HELDMAN, D. **Introduction to Food Engineering**. USA: Academic Press, 839 p, 2009.

WERLE, L.B. **Obtenção de ácido giberélico por fermentação em estado sólido empregando resíduo de cervejaria e farelo de arroz bruto como substratos**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, 2017.