

Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços
e Possibilidades

Manuel Simões
(organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2021

Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços
e Possibilidades

Manuel Simões
(organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2021

2021 by Editora Artemis
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2021 Os autores
Copyright da Edição © 2021 Editora Artemis



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

| | |
|--------------------------|--|
| Editora Chefe | Prof ^ª Dr ^ª Antonella Carvalho de Oliveira |
| Editora Executiva | M. ^ª Viviane Carvalho Mocellin |
| Direção de Arte | M. ^ª Bruna Bejarano |
| Diagramação | Elisangela Abreu |
| Organizador | Prof. Dr. Manuel Simões |
| Imagem da Capa | Vivilweb/123RF |
| Bibliotecário | Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422 |

Conselho Editorial

Prof.^ª Dr.^ª Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba*
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*
Prof.^ª Dr.^ª Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*
Prof.^ª Dr.^ª Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*
Prof.^ª Dr.^ª Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*
Prof.^ª Dr.^ª Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*
Prof.^ª Dr.^ª Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*
Prof.^ª Dr.^ª Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa, Portugal*
Prof.^ª Dr.^ª Cláudia Padovesi Fonseca, *Universidade de Brasília-DF*
Prof.^ª Dr.^ª Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, Espanha*
Prof.^ª Dr.^ª Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*
Prof.^ª Dr.^ª Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal*
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo*
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*
Prof.^ª Dr.^ª Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México*
Prof.^ª Dr.^ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*



Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda*, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, *Universidade Federal do Amazonas*
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, USA
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, *Universidade de Évora*, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, *UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros*
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, *Universidade Estadual Paulista*
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, *Universidade Federal de Goiás*
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, *Universidade de Passo Fundo*
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, *Universidade Estadual Paulista*
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, *Universidade Federal de Sergipe*
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, *Universidade Federal de Ouro Preto*
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, *Universidade Federal da Bahia*
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, *Universidade Federal do Maranhão*
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, *Instituto Politécnico de Viseu*, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, *Universidade Federal de Lavras*
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, *Universidade Federal Fluminense*



Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasiléviski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E82 Estudos em biociências e biotecnologia [livro eletrônico] : desafios, avanços e possibilidades / Organizador Manuel Simões. – Curitiba, PR: Artemis, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-87396-50-7

DOI 10.37572/EdArt_211221507

1. Biociência. 2. Biotecnologia. 3. Biomedicina. 4. Bioética.
I. Simões, Manuel.

CDD 574

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

PREFÁCIO

A biotecnologia baseia-se em conhecimentos multidisciplinares fortemente associados às ciências naturais e exatas, e às ciências aplicadas. As ciências biológicas e o seu enquadramento na biotecnologia têm aplicações em grandes áreas de importância socioeconómica, principalmente na medicina humana e animal, ambiente, agronomia e na indústria. Os processos biotecnológicos são caracterizados por usarem células procariotas ou eucariotas, partes das mesmas ou análogos moleculares - com o objetivo de se obterem produtos e serviços. Avanços significativos na biotecnologia surgiram das sinergias estabelecidas entre engenheiros, cientistas e reguladores para transformar descobertas científicas em novos processos e produtos, com impacto socioeconómico. A elevada dinâmica académica e industrial no desenvolvimento de conhecimento em ciências biológicas e biotecnologia é revelador da sua importância. Contudo, a necessidade de atualização dos avanços científicos, em conjugação com a transformação desse novo conhecimento em conteúdo curricular técnico-científico relevante são desafios para um eficaz processo formativo de recursos humanos altamente qualificados. O enquadramento ético e regulamentar de novos processos e produtos é igualmente desafiante.

Este livro foi dividido em quatro partes: a primeira parte reúne capítulos (1 a 6) relacionados com as biociências e a biotecnologia na área biomédica. A segunda parte concentra capítulos (7 a 11) na área do ambiente. A terceira parte é composta pelos capítulos 12 a 14 que se enquadram em aspetos da bioprospeção. A quarta parte contém os capítulos 15 e 16 que abordam aspetos do ensino/aprendizagem em biotecnologia e da bioética, respetivamente. Neste contexto, pretende com este livro contribuir para que estudantes e professores do ensino superior, ligados às biociências e à biotecnologia, quer a nível de graduação quer de pós-graduação, possam ter uma perspetiva de avanços na área. Este livro pode ser também útil a profissionais ligados a setores nos quais as biociências e a biotecnologia têm um papel de relevo, bem como para professores do ensino pré-académico.

Manuel Simões

SUMÁRIO

BIOMEDICINA

CAPÍTULO 1.....1

A DESCOBERTA DA INSULINA CELEBRA 100 ANOS

Maria Teresa Rangel-Figueiredo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215071

CAPÍTULO 2..... 16

COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE SUSPENSIONES DE NANOTUBOS DE CARBONO CON APLICACIONES BIOMÉDICAS

Arisbel Cerpa-Naranjo

Begoña Ibañez Martínez

Isabel Lado Touriño

Mariana P. Arce


Javier Pérez Piñeiro

Niurka Barrios Bermúdez

María Luisa Rojas Cervantes

Rodrigo Moreno Botella

Sebastián Cerdán García-Esteller

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215072

CAPÍTULO 3.....28

PREMOLARES HUMANOS: ESTUDIO DE FOSITAS INYECTADAS CON COLORANTE Y SU RELACION CON ESTRUCTURAS DENTINALES

Marcela Zaffaroni

Santiago Cueto

Alicia Kohli

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215073

CAPÍTULO 4..... 40

EFFECT OF *Zinnia peruviana* ROOT EXTRACT ON THE PRODUCTION OF MICROBIAL BIOFILMS

Ana Mariel Mohamed

Diego Alberto Cifuentes

Sara Elena Satorres

Claudia Maricel Mattana

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215074

CAPÍTULO 5..... 50

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL TERAPÉUTICO DE TETRATIOMOLIBDATO DE AMONIO EN LA ENDOMETRIOSIS EXPERIMENTAL

Rocío Ayelem Conforti

María Belén Delsouc

Marilina Casais

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215075

CAPÍTULO 6..... 61

LAS CARDIOPATÍAS, EL EJERCICIO Y SU INTERRELACIÓN AMBIENTAL: REVISION DE LITERATURA

Pedro Jorge Cortes Morales

Eduarda Eugenia Dias de Jesus

Fabricio Faitarone Brasilino

Luis Fernando Rosa

Maria Caroline Marcomini Tezolin

Luana de Andrade Mazia

Gilmar Sidnei Erzinger

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215076

AMBIENTE

CAPÍTULO 7..... 74

MICROFAUNA EM CÓRREGOS DE CABECEIRA DO CERRADO CENTRAL DO BRASIL

Claudia Padovesi-Fonseca

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215077

CAPÍTULO 8..... 85

ESTUDO SOBRE A GERAÇÃO, O PROCESSO SELETIVO E O DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO CAMPUS DE PORTO NACIONAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS

Brenda Thais Kalife de Assunção

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215078

CAPÍTULO 9..... 95

TRATAMIENTO BIOLÓGICO EM EFLUENTES DE ÁGUA PARA USINAGEM DE OLIVEIRA

Mariela Beatriz Maldonado

Emiliano Gabriel Fonarsin

Leonel Lisanti

Ariel Marquez

Walter Pirán

Noemi Graciela Maldonado

Pablo Enrique Martín

Daniela Adriana Barrera

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2112215079

CAPÍTULO 10..... 110

PRODUCCIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU USO EN SUELOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

Jairo Vanegas Gordillo

Daniela Forero Gutiérrez

Paola Navarro Munoz

 https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150710

CAPÍTULO 11..... 132

USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS PRODUCIDAS POR TRATAMIENTO HIDROTHERMAL Y RADIACIÓN POR MICROONDAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA CAPTURA DE CARBONO Y AUMENTO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS

Jairo Vanegas Gordillo

Laura Milena Bejarano

Paola Alexandra Aguilar Díaz

 https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150711

BIOPROSPEÇÃO

CAPÍTULO 12..... 154

DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE EXTRAPOLISACÁRIDO DE BACTERIAS PROVENIENTES DE RESIDUOS OLIVÍCOLAS

Fodda Assad Robledo

María Alejandra Soloaga

Patricia Alejandra Córdoba

María Celeste Rosso
María de los Ángeles Spano Cruz
Verónica Alejandra Galleguillo
Gema Blanca Reynoso

 https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150712

CAPÍTULO 13.....163

SESQUITERPENOIDES DE PLANTAS NATIVAS DEL NOROESTE ARGENTINO CON ACCION INSECTICIDA

Susana Beatriz Popich

 https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150713

CAPÍTULO 14.....177

DORMANT RUPTURE AND HORMONES LEVELS IN *Jatropha curcas* L. AND *Jatropha macrocarpa* GRISEB SEED

Nancy Elisabeth Tavecchio
Lihué Olmedo Sosa
Ana Edit Vigliocco
Oscar Terenti
Erika Ayelen Escudero
Hilda Pedranzani

 https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150714

ENSINO E ÉTICA EM BIOTECNOLOGIA

CAPÍTULO 15.....190

DESAFIOS NO ENSINO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS BIOFILMES

Manuel Simões
Lúcia Chaves Simões
Conceição Fernandes
Maria José Saavedra

 https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150715

CAPÍTULO 16.....199

BIOÉTICA EN LA FORMACIÓN EN MEDICINA

Julia Susana Elbaba

 https://doi.org/10.37572/EdArt_21122150716

| | |
|---------------------------------|------------|
| SOBRE O ORGANIZADOR..... | 206 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 207 |

CAPÍTULO 15

DESAFIOS NO ENSINO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS BIOFILMES

Data de submissão: 08/09/2021

Data de aceite: 24/09/2021

Manuel Simões

LEPABE

Departamento de Engenharia Química
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto, Portugal
ORCID ID: 0000-0002-3355-4398

Lúcia Chaves Simões

Centro de Engenharia Biológica
Universidade do Minho, Campus de Gualtar
Braga, Portugal
ORCID ID: 0000-0002-4893-1985

Conceição Fernandes

Centro de Investigação de Montanha (CIMO)
ESA-IPB, Bragança, Portugal
ORCID ID: 0000-0003-2873-501X

Maria José Saavedra

Departamento de Ciências Veterinárias
Escola de Ciências Agrárias e Veterinárias
UTAD, Vila Real, Portugal
Centro de Investigação e Tecnologias
Agroambientais e Biológicas (CITAB), UTAD
Vila Real, Portugal
ORCID ID: 0000-0002-7492-4965

RESUMO: Os biofilmes são o resultado da tendência natural dos microrganismos se fixarem a superfícies (bióticas ou abióticas), multiplicarem e incorporarem numa matriz viscosa de substâncias poliméricas extracelulares (EPS). À medida que o biofilme se desenvolve, o descolamento e os processos de crescimento entram em equilíbrio, levando a uma quantidade constante de biomassa na superfície e à libertação de células do biofilme que permitem a colonização de superfícies vizinhas e a formação de novas comunidades sésseis. EPS dos biofilmes são responsáveis pela ligação entre as células e com outros materiais particulados. A adaptação bem sucedida das bactérias às mudanças das condições naturais requer também que o microrganismo possa sentir e responder ao seu ambiente externo e, em consequência, modular a expressão dos seus genes. Mesmo que os biofilmes sejam provavelmente a primeira forma de vida comunitária na Terra, a incorporação de aspetos científicos da ciência e tecnologia dos biofilmes nos conteúdos de ensino pré ou pós graduado é uma tarefa desafiante, uma vez que esta área de investigação está em constante evolução.

PALAVRAS-CHAVE: Biofilme. Ciência e tecnologia multidisciplinar. Microbiologia aplicada. Resistência antimicrobiana.

CHALLENGES IN TEACHING BIOFILM SCIENCE AND TECHNOLOGY

ABSTRACT: Biofilms are result of a natural tendency of microorganisms to attach to

surfaces (biotic and abiotic), to multiply and to embed themselves in a slimy matrix of extracellular polymeric substances (EPS). The attachment of microorganisms to surfaces is a very complex process. As biofilm matures, detachment and growth processes come into balance leading to a constant amount of biomass on the surface but also to the release of biofilm cells. These enable the colonization of neighbour surfaces and the formation of new biofilm communities. EPS in biofilm systems are responsible for binding cells and other particulate materials together. The successful adaptation of bacteria to changing natural conditions requires also that the microorganism can sense and respond to its external environment and modulate gene expression accordingly. Even if biofilms are probably the first form of community life on Earth, the incorporation of scientific aspects on biofilm science and technology in teaching content is a challenge task as this research field is constantly evolving.

KEYWORDS: Antimicrobial resistance. Applied microbiology. Biofilm. Multidisciplinary science and technology.

1 BIOFILMES – ENQUADRAMENTO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GERAIS E O IMPACTO

Muitos microrganismos têm uma tendência natural para se fixar a superfícies, multiplicar e incorporar numa matriz viscosa, resultando em biofilmes. Supõe-se que a organização de microrganismos em biofilme seja a primeira forma de vida multicelular existente no planeta. Também, é estimado que a maioria dos microrganismos da Terra estão organizados em biofilmes e podem ocorrer em ambientes extremos como centrais nucleares, fontes hidrotermais, ambientes oligotróficos e tubagens industriais sujeitas a forte desinfecção (Costerton et al., 1987). Contudo, a existência de biofilmes só foi documentada de forma pioneira por Zobell, em 1943, que observou células microbianas aderidas em paredes de garrafas. Posteriormente, o termo filme microbiano ou biológico foi atribuído por Atkinson et al. (1964, 1967) à camada gelatinosa de células e dos seus subprodutos aderidos às paredes de um reator biológico. Outros investigadores (Topiwala e Hamer, 1971; Howell et al. 1972) observaram camadas de células bacterianas e as suas substâncias poliméricas extracelulares que designaram como “crescimento de parede”. Bill Characklis (1973a, 1973b) publicou uma marcante e extensa revisão bibliográfica sobre os fundamentos básicos e as implicações práticas dos biofilmes, que designou como “lama microbiana”. Em 1984, um consenso dos principais investigadores na área definiu um biofilme como uma coleção de microrganismos, predominantemente bactérias, embebidos numa matriz tridimensional gelatinosa de polímeros extracelulares excretados pelos microrganismos colonizadores, conforme reportado em Marshall (1984).

A formação de biofilme é um processo complexo, que depende de muitas variáveis, nomeadamente a temperatura, o pH, a velocidade de escoamento do fluido, a concentração de nutrientes, a concentração de desinfetante e a composição e o estado de conservação dos materiais de adesão (Deines et al., 2010; Simões et al. 2010).

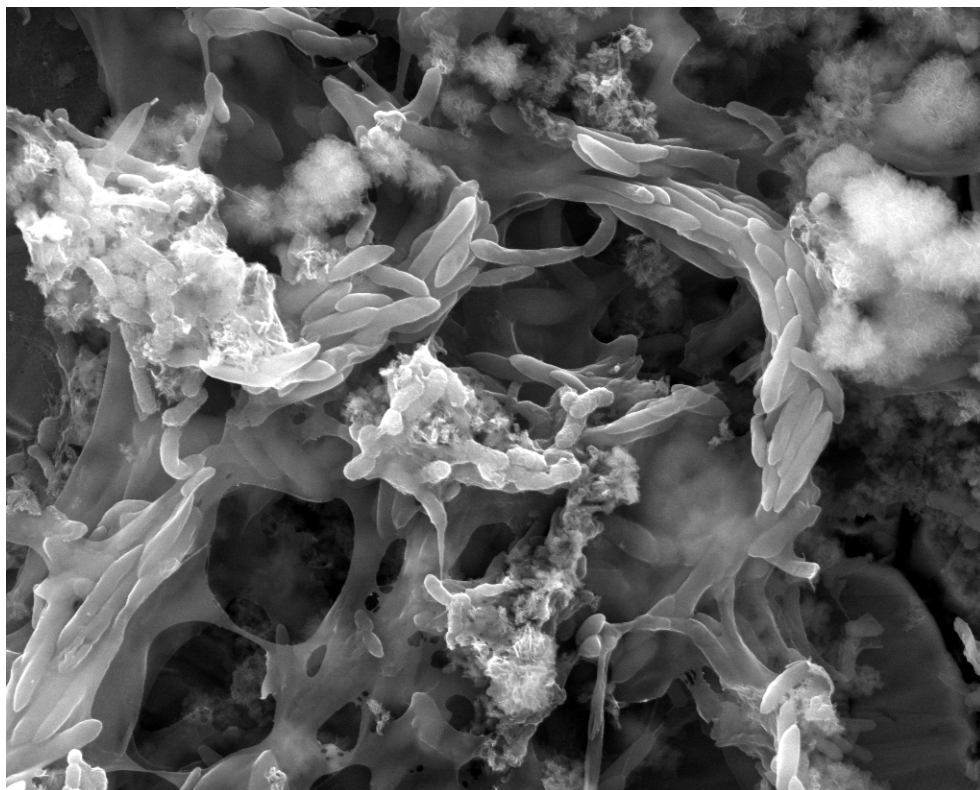
Os mecanismos envolvidos na formação de um biofilme são sequenciais, terminando na formação de uma estrutura madura. No entanto, esta estrutura tem um comportamento dinâmico – fenómenos de crescimento e desprendimento acontecem simultaneamente (Simões et al. 2010).

O transporte dos microrganismos até à superfície é a primeira etapa da formação de um biofilme. Este transporte pode realizar-se por difusão ou convecção. Adicionalmente, poderá existir transporte promovido pelas estruturas de mobilidade celular, como é o caso de microrganismos portadores de flagelos ou de outras estruturas celulares com esta funcionalidade.

Após esta etapa, as células aderem à superfície. Isto resulta de forças de interação entre ambas as superfícies, nomeadamente forças de natureza hidrofóbica e eletrostática. Posteriormente, acontecem fenómenos de comunicação entre as células (quórum sensing), mediados por moléculas sinalizadoras, e a maturação do biofilme - momento em que as células se reproduzem, até atingir um limite máximo. É durante esta etapa que ocorre a formação da matriz de polímeros extracelulares. Esta matriz é altamente hidratada, conferindo ao biofilme estabilidade e resistência a agressões externas, nomeadamente a exposição a antibióticos ou a outros produtos antimicrobianos. Nesta fase, o biofilme pode sofrer desprendimento de células ou de aglomerados de células. Este mecanismo ocorre devido à erosão superficial, em que as camadas mais externas do biofilme libertam células. No entanto, as células residentes do biofilme replicam-se, permitindo que o biofilme permaneça num estado “maduro” ou estado quasi-estacionário.

As células (individuais) e porções de biofilme desprendido podem multiplicar-se e aderir a novas zonas da superfície - iniciando a formação de um novo biofilme. A Figura 1 mostra a estrutura de um biofilme “maduro” formado pela bactéria *Pseudomonas fluorescens*, numa superfície de aço inoxidável. Nesta imagem é perceptível a existência de células e da matriz de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) a envolver as células colonizadoras.

Figura 1 – Biofilme formado pela bactéria *Pseudomonas fluorescens* obtido por microscopia eletrônica de varrimento (ampliação $\times 10000$). As estrutura bacilar das bactérias é evidente assim como a existência da matriz de EPS a envolver as células.



A formação de biofilmes pode ser benéfica ou pode causar problemas. Biofilmes benéficos são encontrados em sistemas de tratamento biológico de efluentes e em processos industriais de produção de biomoléculas. Diversas configurações de reatores com biofilmes são usados para o tratamento de água residuais. Nestas configurações, e dado que as células se encontram imobilizadas, o seu tempo de permanência no reator é independente do tempo de residência do meio líquido. Em reatores com células suspensas o tempo médio de permanência da fase líquida no sistema não pode ser menor do que o tempo de geração das células, caso contrário estas não têm tempo suficiente para se replicar, sendo removidas do sistema. Bactérias comensais existem em biofilmes da pele e dentro de certos órgãos do corpo humano (Klitgord and Segrè, 2010). Este microbioma natural auxilia nas funções metabólicas e está envolvido na prevenção de doenças (Stephani et al., 2011). Além disso, os biofilmes bacterianos são importantes componentes do ambiente, sendo encontrados em relações simbióticas com raízes de plantas (Chang et al., 2011), em águas estagnadas (Chollet-Imbert et al.,

2009), em rochas submersas (Ridal et al., 2007), e em muitas outras superfícies. Mais recentemente, os biofilmes têm sido estudados para a produção de diversos produtos de interesse biotecnológico (Edel et al. 2019).

Biofilmes indesejáveis podem causar problemas na indústria (incrustação de condutas, permutadores de calor e estruturas marinhas, corrosão de superfícies metálicas induzida por microrganismos, contaminação de produtos alimentares e farmacêuticos) e na saúde (formação de placa dentária, feridas, infecção dos mais diversos tecidos biológicos, contaminação de superfícies e dispositivos médicos). De facto, é reconhecido que 60 a 80% das infeções microbianas se devem à presença de biofilmes (Simões, 2011). Os problemas associados a biofilmes podem variar em importância relativa – desde um simples incómodo a uma ameaça à vida (Hall-Stoodley et al., 2004). A formação destas comunidades sésseis e a sua resistência inerente aos agentes antimicrobianos estão na raiz de muitas infeções bacterianas persistentes e crónicas (Borges et al. 2015; Afonso et al. 2021). No entanto, o aumento da resistência aos agentes antimicrobianos por parte dos microrganismos em biofilme, não se deve totalmente à falha desses agentes antimicrobianos (Simões et al. 2010). Em vez disso, esta resistência pode ser explicada pela hipótese da existência de limitação no acesso a nutrientes pelas células residentes. Esta limitação faz com que as células dos biofilmes entrem num estado de crescimento lento. Células metabolicamente dormentes ou sem crescimento mostraram ser menos suscetíveis a agentes antimicrobianos comparativamente às mesmas células cultivadas num meio rico em nutrientes, e com elevadas taxas de crescimento (Mah e O’Toole, 2001). Outra hipótese para explicar a reduzida suscetibilidade das células em biofilmes a agentes antimicrobianos é a aquisição de um fenótipo que permite manter as células num estado diferenciado que confere resiliência às agressões externas (Cochran et al., 2000). O uso de agentes antimicrobianos têm sido a principal arma usada para controlar os biofilmes indesejáveis, interferindo com o metabolismo microbiano ou induzindo o seu desprendimento da superfície de adesão. No entanto, muitos agentes antimicrobianos mostraram ser ineficazes na prevenção e no controlo de biofilmes – reforçando a elevada resistência e resiliência das células em biofilmes (Simões et al. 2010; Afonso et al. 2021).

Os biofilmes microbianos podem formar-se praticamente em qualquer material que esteja em contacto com a água. Uma vez formados, são extremamente difíceis de serem completamente removidos (Simões et al. 2010). As células em biofilme têm vantagens em termos de capacidade de sobrevivência comparativamente às mesmas células em suspensão. Além do estado fisiológico das células em biofilme referido anteriormente, a presença da matriz de polímeros extracelulares tem um papel importante na resistência

dos biofilmes à ação de agentes métodos químicos ou físicos para o seu controlo. Esta matriz é constituída predominantemente por água (até 95% em peso húmido) e por substâncias poliméricas extracelulares, particularmente proteínas, polissacáridos e ácidos nucleicos, que providenciam estabilidade ao biofilme - atuando como um escudo protetor das agressões externas (Flemming & Wingender, 2010). Na Tabela 1 estão indicadas algumas propriedades e funções destas substâncias.

Tabela 1 – Propriedades e funções das substâncias poliméricas extracelulares. Baseado em Smirnova et al. (2010) e Simões et al. (2010).

| Função da matriz | Natureza das substâncias | O papel no biofilme |
|-------------------------|--|---|
| Estrutural | Polissacáridos neutros e ácidos | Componente estrutural |
| | Amilóides | |
| Adsorativa | Polissacáridos hidrofóbicos ou com carga | Troca iónica, adsorção |
| Ativante | Enzimas extracelulares | Degradação de moléculas |
| Superfície ativa | Anfifílicos | Superfície ativa |
| | Vesículas de membrana | Exportação das células, adsorção |
| Informativa | Lectinas | Especificidade, reconhecimento |
| | Ácidos nucleicos | Informação genética, estrutura |
| Nutritiva | Vários polímeros | Fontes de carbono, nitrogénio e fósforo |

2 ENQUADRAMENTO DOS BIOFILMES EM CONTEÚDO CURRICULAR

A ciência e tecnologia de biofilmes é uma disciplina técnica relativamente nova, que surgiu em resposta à necessidade de metodologias para o seu controlo. Investigação na área dos biofilmes avançou rapidamente nas últimas décadas como resultado da colaboração de médicos, microbiólogos, bioquímicos, químicos, ecologistas microbianos, engenheiros e matemáticos. Através de uma variedade de técnicas microscópicas e moleculares, a comunidade científica passou a entender muitas coisas sobre a biologia e o comportamento dos biofilmes microbianos. Embora os biofilmes sejam diferentes entre si, *i.e.* a sua composição microbiana, como e onde crescem, a sua virulência, etc, há aspetos gerais que todos os biofilmes tendem a exibir. A existência de tais características possibilitou a aplicação de conceitos de catálise heterogénea para descrever os fenómenos de transporte de massa e de reação biológica nos biofilmes (Simões & Malcata, 2020). Este é um dos poucos exemplos que permitiu a inclusão da presença de biofilmes na performance e dimensionamento de reatores com biomassa imobilizada. Estes conceitos são correntemente ensinados em contexto universitário. Por exemplo,

na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto a unidade curricular Tecnologia Ambiental possibilita a aprendizagem do dimensionamento de reatores de biofilme incorporando os efeitos simultâneos da transferência de massa e reação biológica.

No entanto, e surpreendentemente, a introdução aos conceitos fundamentais e aplicados sobre biofilmes não é convencionalmente lecionada a estudantes pré ou pós graduados, nem considerada em práticas hospitalares ou industriais. São exemplo disso: i) O não enquadramento dos biofilmes na seleção da terapia antimicrobiana – os antibiogramas usam células em estado fisiológico substancialmente diferente do encontrado em biofilmes – apesar das infeções microbianas, particularmente as mais críticas, se deverem essencialmente à presença de biofilmes. ii) A seleção de desinfetantes para uso industrial ou hospitalar é feita com base em testes com células em estado planctónico.

O ensino dos biofilmes é uma ótima maneira de introduzir uma diversidade de conceitos biológicos (microbiologia, ecologia microbiana, comunicação molecular através de biomoléculas, genética, antibioterapia, virulência, etc) e de engenharia (transferência de calor e massa, reação biológica, simulação, fenómenos interfaciais, etc). Atividades experimentais com biofilmes são relativamente simples e estimulam a compreensão de fenómenos e processos (McOwat & Stanley-Wall, 2018).

3 AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base - UIDB/00511/2020 da Unidade de Investigação - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia – LEPABE; financiamento CIMO (UIDB/00690/2020); financiamento CITAB UIDB/04033/2020 e UIDP/04033/2020; financiamento CEB UIDB/04469/2020 - por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC) e PT2020.

- Projeto PTDC/BII-BTI/30219/2017 - POCI-01-0145-FEDER-030219 e POCI-01-0247-FEDER-072237, financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e com o apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC).

REFERÊNCIAS

Afonso, A. Oliveira, D., Saavedra, M. J., Borges, A., & Simões M. **“Biofilms in diabetic foot ulcers: impact, risk factors and control strategies.”** *International Journal of Molecular Sciences* 22 (2021): 8278.

Atkinson, B. **“Biochemical reactors.”** London: Pion Press, 1964.

Atkinson, B., Swilley, E. L., Busch, A. W., & Williams, D. A. "**Kinetics, mass transfer and organism growth in a Biological Film Reactor.**" *Transactions in Instrumental Chemical Engineering* 46 (1967): T257-T264.

Borges, A., Abreu, A. C., Saavedra, M. J., Borges, F., & Simões, M. "**New perspectives on the use of phytochemicals as an emergent strategy to control bacterial infections including biofilms.**" *Molecules* 21 (2016): 877.

Chang, Y.L., Wang, E.T., Sui, X.H., Zhang, X.X. & Chen, W.X. "**Molecular diversity and phylogeny of rhizobia associated with *Lablab purpureus* (Linn.) grown in Southern China.**" *Systematic and Applied Microbiology* 34 (2011): 276–284.

Characklis, W. G. "**Attached microbial growths: I. Attachment and growth.**" *Water Research* 7 (1973a): 1113-1127.

Characklis, W. G. "**Attached microbial growths: II. Frictional losses due to microbial slimes.**" *Water Research* 8 (1973b): 1249-1258.

Chollet-Imbert, M., Gancel, F., Slomianny, C. & Jacques, P. "**Differentiated pellicle organization and lipopeptide production in standing culture of *Bacillus subtilis* strains.**" *Archives of Microbiology* 191 (2009): 63–71.

Costerton, J. W., Cheng, K.-J., Geesey, G. G., Ladd, T. I., Nickel, J. C., Daugupta, M., & Marrie, T. J. "**Bacterial biofilms in nature and disease.**" *Annual Reviews in Microbiology* 41 (1987): 435-464.

Deines, P., Sekar, R., Husband, P. S., Boxall, J. B., Osborn, A. M., & Biggs, C. A. "**A new coupon design for simultaneous analysis of *in situ* microbial biofilm formation and community structure in drinking water distribution systems.**" *Applied Microbiology and Biotechnology* 87 (2010): 749-756.

Edel, M., Horn, H., & Gescher, J. "**Biofilm systems as tools in biotechnological production.**" *Applied Microbiology and Biotechnology* 103 (2019): 5095-5103.

Flemming, H.-C., & Wingender, J. "**The biofilm matrix.**" *Nature Reviews in Microbiology* 8 (2010): 623-633.

Schaule, G., McDonog, R., & Ridgway, H.F. "**Effects and extent of biofilm accumulation in membrane systems.**" *Biofouling and Biocorrosion in Industrial Water Systems* 1994: 63-90.

Hall-Stoodley, L., Costerton, J. W., & Stoodley, P. "**Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases.**" *Nature Reviews in Microbiology* 2 (2004): 95-108.

Jenkinson, H. F., & Lappin-Scott, H.M. "**Biofilms adhere to stay.**" *Trends in Microbiology* 9 (2001): 9-10.

Howell, J. A., Chi, C. T., & Pawlowsky, U. "**Effect of wall growth on scale-up problems and dynamic operating characteristics of the biological reactor.**" *Biotechnology and Bioengineering* 14 (1972): 253-265.

Klitgord, N. & Segrè, D. "**Environments that induce synthetic microbial ecosystems.**" *PLoS Computer Biology* 6 (2010): e1001002.

Marshall, K. C. "**Microbial adhesion and aggregation.**" London: Springer-Verlag, 1984.

McOwat, K., & Stanley-Wall, N. R. "**Biofilm building: a simple board game to reinforce knowledge of biofilm formation.**" *Journal of Microbiology & Biology Education* 19 (2018): 19.1.59.

Ridal, J.J., Watson, S.B. & Hickey, M.B. "A comparison of biofilms from macrophytes and rocks for taste and odour producers in the St. Lawrence river." *Water Science Technology* 55 (2017): 15–21.

Simões, M., Simões, L. C., & Vieira, M. J. "A review of current and emergent biofilm control strategies." *LWT - Food Science and Technology* 43 (2010): 573-583.

Simões, M. "Antimicrobial strategies effective against infectious bacterial biofilms." *Current Medicinal Chemistry* 18 (2011): 2129-2145.

Simões, M., & Malcata, F. X. "Simple protocol to facilitate students' understanding of the effects of enzyme immobilization on kinetics of reaction and mass transfer." *Journal of Chemical Education* 97 (2020): 2308-2313.

Smirnova, T. A., Didenko, L. V., Azizbekyan, R. R., & Yu. M. Romanova. "Structural and functional characteristics of bacterial biofilms." *Microbiology* 79 (2010): 413-423.

Stephani, J., Radulovic, K. & Niess, J.H. "Gut microbiota, probiotics and inflammatory bowel disease." *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis* 59 (2011) 161-177.

Topiwala, H. H., & Hamer, G. "Effect of wall growth in steady state continuous culture." *Biotechnology and Bioengineering* 8 (1971): 919-922.

Zobell, C. E. "The effect of solid surfaces upon bacterial activity." *Journal of Bacteriology* 46 (1943): 39-56.

SOBRE O ORGANIZADOR

Manuel Simões é licenciado em Engenharia Biológica e doutorado em Engenharia Química e Biológica. Atualmente é Professor Associado com Agregação e Pró-Diretor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), e investigador sénior do Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia (LEPABE) do Departamento de Engenharia Química da FEUP. Nos últimos anos esteve envolvido em 10 projetos nacionais (5 como investigador principal) e 6 projetos europeus. Foi membro do comité de gestão da ação COST BACFOODNET (Rede Europeia para Mitigação da Colonização e Persistência Bacteriana em Alimentos e Ambientes de Processamento de Alimentos) e esteve envolvido em outras 2 ações: iPROMEDAI e MUTALIG. Manuel Simões tem mais de 190 artigos publicados em revistas indexadas no Journal of Citation Reports, 4 livros (1 como autor e 3 como editor) e mais de 40 capítulos em livros. Ele é Editor Associado para o jornal Biofouling - The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research (o periódico mais antigo sobre pesquisa em biofilme), Editor Associado para o jornal Frontiers in Microbiology e Section Editor-in-Chief para o jornal Antibiotics. Seus principais interesses de pesquisa estão focados nos mecanismos de formação de biofilme e seu controlo com agentes antimicrobianos, particularmente usando novas moléculas antimicrobianas, e no uso de microalgas para tratamento de efluentes. É um dos investigadores mais citados do mundo (top 1%), tendo sido distinguido nos últimos dois anos no índice Essential Science Indicators, um dos mais prestigiados indicadores da qualidade de investigação.

Identificação SCOPUS: 55608338000; N° orcid: 0000-0002-3355-4398

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acetonic root extract 41
Aguas de maquinado de aceitunas 96, 99
Aplicaciones biomédicas 16, 17, 21
Áreas preservadas 74

B

Biochar 110, 111, 113, 114, 115, 116, 120, 121, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 139, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153
Biodiversidade aquática 74
Bioética 199, 200, 201, 204, 205
Biofilme 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196
Biopelículas 41, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161
Biorremediación 96, 98, 102, 105, 106, 107, 108

C

Captura de carbono 112, 116, 132, 133, 134, 136, 145, 146, 147, 148, 151, 153
Carbono orgánico 110, 111, 115, 116, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 132, 135, 136, 137, 142, 143, 144, 145, 150
Caries 28, 29, 30, 36, 37, 38, 39
Ciência e tecnologia multidisciplinar 190
Cobre 19, 50, 51, 52, 122, 153
Competencias 199, 200, 202, 203, 204, 205

D

Destinação 85, 87, 89, 90
Diabetes mellitus 1, 2, 3, 6, 11, 12, 13, 14, 15
Dormancy 177, 178, 179, 180, 183, 185, 186, 187, 188, 189

E

Efectos subletales 163, 172
Efluentes 96, 97, 98, 100, 102, 106, 107, 193
Ejercicio físico 62, 63, 66, 68, 70
Endometriosis 50, 51, 53, 58, 59, 60
Enfermedad cardiovascular 62, 63

Enmienda orgánica 110, 111, 125, 126, 129
Enmiendas orgánicas 110, 111, 132, 133
Enterobacter cloacae 155, 156, 157, 159, 160, 161
Esmalte 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36, 37
Espécies endêmicas 74, 75, 76, 78, 82
Estradiol 51, 52, 54, 55, 57, 59
Extrapolisacáridos 154, 155, 156

F

Factores de caries 29
Falta de gestão 85

G

Glicemia 1, 2, 5, 9, 12

H

Hidrochar 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150
Hormona 1, 10, 11, 12, 51

I

Incorporación de efluentes 96
Insectos 163, 164, 165, 166, 167, 168, 171, 172, 173, 175
Insulina 1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 12, 13

J

Jatropha 48, 177, 178, 180, 184, 185, 186, 187, 188, 189

M

Medicina 1, 4, 11, 13, 18, 28, 61, 62, 66, 67, 72, 175, 199, 200, 201, 204, 205
Medio ambiente 62, 63, 64, 66, 69, 97
Microbial biofilms 41, 42, 49
Microbiologia aplicada 190
Microondas 132, 133, 134, 135, 141, 144, 150
Microorganismos nativos 96, 99, 102, 103, 104, 106, 107

N

Nanotubos de carbono 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26

P

Per capita 85, 86, 89, 91

Percepção 199, 200, 203, 204

Permeabilidade dentinal 29, 37

Phytohormones 178, 187

Pirolisis 110, 111, 113, 119, 120, 124, 125, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 141, 144, 150, 151, 153

Potencial zeta 17, 19, 21, 22, 24

Productividade 110, 111, 112, 117, 128, 129

R

Reología 17

Resíduo sólido 85, 88, 89, 91

Resíduos olivícolas 155, 156, 160, 161, 162

Resíduos orgânicos 89, 110, 111, 113, 117, 118, 125, 132, 133, 134, 148, 149, 150

Resistência antimicrobiana 190

S

Savana 74, 75, 77

Savana brasileira 74

Seeds 178, 179, 180, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189

Sesquiterpenoides 163, 166, 167

Suero fetal bovino 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25

T

Tetratiomolibdato de amonio 50, 51, 52

Tipos de esmalte 29

Toxicidad 41, 163, 164, 168, 169, 174

Tratamiento hidrotermal 132, 133

V

Vernonieae 163, 166, 167, 168, 172, 173, 176

Z

Zinnia peruviana 40, 41, 43, 44, 46, 48, 49