

## PROJETO GREEN PARK (Parque de diversão que gera energia limpa)

**ASSIS, Samuel Chagas de<sup>1</sup>**  
**SOUZA, Samara Silva de<sup>2</sup>**  
**MORGADO, Daniella Lury<sup>3</sup>**  
**ANDO Jr., Oswaldo Hideo<sup>4</sup>**

### RESUMO

A microbiologia pode ser aplicada em diferentes áreas da engenharia, inclusive na produção de matéria-prima para novos dispositivos (bio)eletrônicos. O atual projeto busca estabelecer uma linha de produção utilizando a nanocelulose bacteriana (NCB), para o desenvolvimento de materiais com aplicação na área de nanotecnologia, uma vez que produtos microbiológicos apontam para um desenvolvimento sustentável de dispositivos eletrônicos. A partir dos resultados obtidos, pode-se dizer que no presente projeto estabeleceu-se uma linha de produção de NCB, acumulou-se conhecimento necessário para o desenvolvimento de um compósito sustentável com potencial aplicação eletrônica. Além disto, no período a produção de um artigo de revisão para divulgação científica foi realizado.

**Palavras-chaves:** nanocelulose; microbiologia; bioeletrônica; sustentabilidade.

### 1 INTRODUÇÃO

O projeto denominado de “*GREEN PARK* (Parque de diversão que gera energia limpa)” apresenta uma série de ações didáticas para a conscientização de práticas sustentáveis, promovendo a integração da universidade com a comunidade da cidade de Foz do Iguaçu e região. O presente trabalho busca a aplicação da microbiologia no estudo de materiais sustentáveis e eficientes, utilizando de mecanismos biológicos para a construção de componentes aplicados à área de

---

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Biotecnologia - ILACVN – UNILA; bolsista de PIBEX-FA.

E-mail: [sc.assis.2017@aluno.unila.edu.br](mailto:sc.assis.2017@aluno.unila.edu.br);

<sup>2</sup> Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR - Campus Dois Vizinhos. Coordenação de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia – COEBB – e-mail: [samarasouza@utfpr.edu.br](mailto:samarasouza@utfpr.edu.br)

<sup>3</sup> Pós-doutoranda no grupo Grupo de Pesquisa em Energia e Sustentabilidade Energética (GPEnSE) Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) – e-mail: [danylury@gmail.com](mailto:danylury@gmail.com);

<sup>4</sup> Servidor do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território (ILATIT) – UNILA. Orientador de bolsista PIBEX-FA.

E-mail: [Oswaldo.junior@unila.edu.br](mailto:Oswaldo.junior@unila.edu.br).

eletrônica. Neste sentido, o trabalho busca estabelecer técnicas de produção e modificação de nanocelulose de origem bacteriana, assim como, conseguir implementar didáticas na área de microbiologia para comunidade acadêmica, em destaque para a área de engenharia.

O crescente avanço tecnológico aumentou a demanda por matéria prima de origem sustentável, sendo que a maioria das aplicações utilizam fontes de materiais não-renováveis, não-biodegradáveis e na maioria das vezes, potencialmente tóxicas (por exemplo, arsenieto de gálio) ao meio ambiente. Apesar de apresentarem uma durabilidade relativamente alto, os dispositivos atualmente fabricados são frequentemente descartados de maneira incorreta, oferecendo um alto risco de contaminação para o meio ambiente. Desta forma, nota-se que o desenvolvimento de materiais com aplicações sustentáveis e ambientalmente favoráveis é essencial e esforços devem ser realizados no emprego de fontes renováveis abundantes e biodegradáveis (Jung *et al.*, 2015).

A celulose apresenta uma estrutura molecular formada por unidades de anidroglicose (AGU). Estas unidades estão ligadas por ligações glicosídicas, contando com a presença de ligações intra e intermoleculares, que ocorrem através de ligações hidrogênio. As interações entre as cadeias geram a formação de nanofibras de celulose estabilizadas e espessas. A presença de três grupos de hidroxilas na estrutura da celulose confere ao polímero a possibilidade de modificações e interações com uma série de substâncias químicas

Os materiais celulósicos apresentam propriedades interessantes que podem variar dependendo da fonte. As características morfológicas e interações inter- e intramoleculares favorecem diversas aplicações em áreas distintas, com destaque para a área de ciências dos materiais, oferecendo características como biodegradabilidade, resistência e biocompatibilidade. Este polissacarídeo natural pode apresentar diferentes arranjos, no qual está presente a classe de nanocelulose (*nanowhiskers*, nanocristais, nanofibras, nanocelulose bacteriana, etc). Neste sentido, a nanotecnologia utilizou dessas características para o desenvolvimento de novos dispositivos eletrônicos, assim como aumentar as propriedades intrínsecas de alguns materiais, especialmente, aqueles que podem apresentar aplicação na área da saúde (Siqueira, Bras e Dufresne, 2010).

O sistema de produção bacteriana de nanocelulose é composto pelos

complexos terminais, onde a acumulação das microfibrilas extrudadas no meio são arrançadas pelas interações intermoleculares formando membranas de pura celulose. Desta forma, a estrutura da membrana 3-D formada oferece um material altamente hidrofílico, com uma geometria porosa e resistente. A resistência tem origem nas interações nanoescalares devido a espessura das nanofibras que constituem as microfibrilas.

Diversas abordagens buscam aprimorar as técnicas de funcionalização de BNC empregando-se métodos físicos, químicos e/ou biológicos. O estudo sistemático da aplicação de BNC puro ou em combinação com diferentes substâncias (por exemplo, biopolímeros e nanopartículas) podem vir a contribuir nas propriedades das membranas de nanocelulose individualmente, ou seja, na geração de novos bionanocompósitos (Golmohammadi *et al.*, 2017).

Sendo assim, a partir de bactérias produtoras de nanocelulose, como a *Komagataeibacter xylinus*, pode-se produzir em larga escala membranas de nanocelulose. Após a construção do conhecimento e adaptação das metodologias de cultivo, as membranas foram utilizadas em metodologias de modificação física para incorporação de nanomateriais condutores, entre essas, partículas de óxido de grafeno (GO). Esse processo resultou no desenvolvimento de materiais com alto potencial de aplicação em dispositivos eletrônicos flexíveis.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho foi inicialmente dividido em três etapas, as quais foram realizadas no Laboratório Bioquímica e Microbiologia com o auxílio das pesquisadora Dra. Samara Silva de Souza. A primeira etapa buscou estudar uma rota de produção da NCB a partir da bactéria *K. xylinus* em laboratório, buscando produzir um estoque de membranas de nanocelulose com diferentes dimensões morfológicas para posterior funcionalização. A segunda etapa caracterizou-se pela definição de protocolo para impregnação de nanopartículas de óxido de grafeno. Na terceira etapa foi realizado uma revisão da literatura buscando definir as possibilidades de funcionalização de NCB com o objetivo de aplicações (bio)eletrônicas. A segunda e terceira etapas foram realizadas simultaneamente

Para a realização da primeira etapa, utilizou-se meio de cultivo líquido, em condição aeróbia à temperatura de 30°C, seguindo procedimento experimental

descrito por Hestrin-Schramm (HS) (Schramm e Hestrin, 1954) e o inóculo de *Komagataeibacter xylinus* ATCC 53582, utilizado em estudos de cultivo anteriores (Souza *et al.*, 2018). Após o procedimento de reativação, as membranas foram produzidas com intervalo de sete dias, tempo necessário para a formação da membrana com geometria 3-D, conforme descrito na literatura. Neste processo, foi cultivado membranas em diferentes placas de cultivos celulares que apresentavam 6, 24 e 96 poços.

A segunda etapa foi realizada no Laboratório de Eletroquímica com colaboração do Professor Dr. José Ricardo Salgado. O procedimento utilizado consistiu na impregnação física de nanopartículas de GO por meio de sonicação com banho ultrassônico (Elma E120H - Elmasonic de 37kHz) com controle de temperatura de aproximadamente de 40 °C. Assim, sete membranas de NCB puras foram depositadas em uma solução de 200 mL de GO disperso (com concentração igual a 1mg/mL), permanecendo nestas condições pelo período de duas horas, com periódicas agitações realizadas manualmente. A agitação foi realizada com o objetivo de evitar a precipitação das membranas na solução durante o período de tempo. As membranas NCB/GO foram secas à temperatura ambiente, sendo cobertas com papel alumínio para evitar a deposição de qualquer material presente no ar.

Na terceira etapa deste trabalho foi realizado um estudo bibliográfico do potencial aplicação eletrônica das membranas de NCB funcionalizada como materiais flexíveis e condutores. Essa etapa contou com a colaboração do Professor Dr. Oswaldo Hideo Ando Junior e as pesquisadoras Dra. Samara Silva de Souza e Dra. Daniella Lury Morgado.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos na primeira etapa podem ser dados como satisfatórios, uma vez que estabeleceu-se uma linha de produção de NCB no Laboratório de Bioquímica e Microbiologia. Ressalta-se que durante o período de reativação do inóculo, houve diferentes reativações contaminadas. Esses agentes contaminantes impossibilitavam o funcionamento metabólico da produção de nanocelulose pelas bactérias, ou seja, geravam membranas defeituosas. Buscando superar as contaminações, ações foram realizadas, tais como mudança do local de inoculação e do armazenamento das membranas, permanecendo em uma câmara DBO.

A segunda etapa do trabalho está em andamento e caracterizações das membranas funcionalizadas NCB/GO estão previstas futuramente. No andamento do trabalho as membranas funcionalizadas serão caracterizadas quanto as suas características morfológicas, eletroquímicas e e propriedades mecânicas. Análises prévias demonstraram uma excelente eficiência na condutividade das membranas funcionalizadas. Adicionalmente a terceira etapa um artigo de revisão foi submetido a revista internacional (*Materials*), o qual se encontra em fase de análise.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos acredita-se que a celulose bacteriana apresenta-se como uma alternativa viável para atuar como fonte sustentável na geração de matéria-prima com aplicação em dispositivos eletrônicos e na funcionalização de outros materiais Além disso, o conhecimento adquirido pode vir a auxiliar na demonstração e aplicação da importância da microbiologia nos avanços tecnológicos sustentáveis. Nesse sentido, acredita-se que a continuidade para obtenção de dados nas futuras caracterizações poderá ampliar as linhas de aplicação de materiais baseados em NCB.

## 6 PRINCIPAIS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOLMOHAMMADI, H. *et al.* Nanocellulose in Sensing and Biosensing. **Chemistry of Materials**, v. 29, n. 13, p. 5426–5446, 11 jul. 2017.

JUNG, Y. H. *et al.* High-performance green flexible electronics based on biodegradable cellulose nanofibril paper. **Nature Communications**, v. 6, n. May, p. 1–11, 2015.

SCHRAMM, M.; HESTRIN, S. Factors affecting Production of Cellulose at the Air/ Liquid Interface of a Culture of *Acetobacter xylinum*. **Journal of General Microbiology**, v. 11, n. 1, p. 123–129, ago. 1954.

SIQUEIRA, G.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Cellulosic Bionanocomposites: A Review of Preparation, Properties and Applications. **Polymers**, n. 2, p. 728–765, 2010.

SOUZA, S. S. DE *et al.* A defined minimal culture medium for bacterial nanocellulose biosynthesis. **Carbohydrate Polymers**, v. 4, 2018.

## 7 AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao suporte financeiro realizado pelo Programa Institucional de Bolsas de Extensão - Fundação Araucária (PIBEX – FA).