

# MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AGROECOLOGIA 4

Tayronne de Almeida Rodrigues  
João Leandro Neto  
Dennyura Oliveira Galvão  
(Organizadores)

 **Atena**  
Editora

Ano 2019



**Tayronne de Almeida Rodrigues**  
**João Leandro Neto**  
**Dennyura Oliveira Galvão**  
(Organizadores)

# **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia 4**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

M514 Meio ambiente, sustentabilidade e agroecologia 4 [recurso eletrônico]  
/ Organizadores Tayronne de Almeida Rodrigues, João Leandro Neto, Dennyura Oliveira Galvão. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-330-9

DOI 10.22533/at.ed.309191604

1. Agroecologia – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente – Pesquisa – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Rodrigues, Tayronne de Almeida. II. Leandro Neto, João. III. Galvão, Dennyura Oliveira. IV. Série.

CDD 630

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

## APRESENTAÇÃO

A obra Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia vem tratar de um conjunto de atitudes, de ideias que são viáveis para a sociedade, em busca da preservação dos recursos naturais.

Em sua origem a espécie humana era nômade, e vivia integrada a natureza, sobreviviam da caça e da colheita. Ao perceber o esgotamento de recursos na região onde habitavam, migravam para outra área, permitindo que houvesse uma reposição natural do que foi destruído. Com a chegada da agricultura o ser humano desenvolveu métodos de irrigação, além da domesticação de animais e também descobriu que a natureza oferecia elementos extraídos e trabalhados que podiam ser transformados em diversos utensílios. As pequenas tribos cresceram, formando cidades, reinos e até mesmo impérios e a intervenção do homem embora pareça benéfica, passou a alterar cada vez mais negativamente o meio ambiente.

No século com XIX as máquinas a vapor movidas a carvão mineral, a Revolução Industrial mudaria para sempre a sociedade humana. A produção em grande volume dos itens de consumo começou a gerar demandas e com isso a extração de recursos naturais foi intensificada. Até a agricultura que antes era destinada a subsistência passou a ter larga escala, com cultivos para a venda em diversos mercados do mundo. Atualmente esse modelo de consumo, produção, extração desenfreada ameaça não apenas a natureza, mas sua própria existência. Percebe-se o esgotamento de recursos essenciais para as diversas atividades humanas e a extinção de animais que antes eram abundantes no planeta. Por estes motivos é necessário que o ser humano adote uma postura mais sustentável.

A ONU desenvolveu o conceito de sustentabilidade como desenvolvimento que responde as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de satisfazer seus próprios anseios. A sustentabilidade possui quatro vertentes principais: ambiental, econômica, social e cultural, que trata do uso consciente dos recursos naturais, bem como planejamento para sua reposição, bem como no reaproveitamento de matérias primas, no desenvolvimento de métodos mais baratos, na integração de todos os indivíduos na sociedade, proporcionando as condições necessárias para que exerçam sua cidadania e a integração do desenvolvimento tecnológico social, perpetuando dessa maneira as heranças culturais de cada povo. Para que isso ocorra as entidades e governos precisam estar juntos, seja utilizando transportes alternativos, reciclando, incentivando a permacultura, o consumo de alimentos orgânicos ou fomentando o uso de energias renováveis.

No âmbito da Agroecologia apresentam-se conceitos e metodologias para estudar os agroecossistemas, cujo objetivo é permitir a implantação e o desenvolvimento de estilos de agricultura com maior sustentabilidade, como bem tratam os autores desta obra. A agroecologia está preocupada com o equilíbrio da natureza e a produção de alimentos sustentáveis, como também é um organismo vivo com sistemas integrados

entre si: solo, árvores, plantas cultivadas e animais.

Ao publicar esta obra a Atena Editora, mostra seu ato de responsabilidade com o planeta quando incentiva estudos nessa área, com a finalidade das sociedades sustentáveis adotarem a preocupação com o futuro. Tenham uma excelente leitura!

Tayronne de Almeida Rodrigues

João Leandro Neto

Dennyura Oliveira Galvão

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
SYNTHESIS OF TRANSITION METAL NITRIDE AT LOW TEMPERATURE FROM COMPLEXED PRECURSOR	
Rayane Ricardo da Silva Carlson Pereira de Souza André Luís Lopes Moriyama	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
TÉCNICAS ASSOCIADAS DE REMEDIAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA E DO SOLO POR HIDROCARBONETOS: ESTUDO DE CASO EM POSTO DE COMBUSTÍVEL	
José Eduardo Taddei Cardoso Paulo Cesar Lodi Ana Maria Taddei Cardoso de Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>17</b>
TÉCNICAS DE MANEJO PARA RECUPERAÇÃO DE POMAR DE CUPUAÇUZEIRO COM HISTÓRICO DE ALTA INFESTAÇÃO DA DOENÇA VASSOURA-DE-BRUXA	
Hyanameyka Evangelista de Lima Primo Teresinha Silveira Costa Albuquerque Alcides Galvão dos Santos Rosiere Fonteles de Araújo Ezequiel Souza Queiroz Raimundo Silva Araújo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>26</b>
TELECONEXÕES ENTRE O EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E O MODO ANULAR AUSTRAL EM EVENTOS EXTREMOS DE ONDA NAS REGIÕES OCEÂNICAS SUL E SUDESTE DO BRASIL	
Luthiene Alves Dalanhese Thaís Lobato Sarmento André Luiz Belém	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>38</b>
TOPOSLICER® SOFTWARE FOR BIOINSPIRATION USING DOD INKJET PRINTING: FROM AFM IMAGE OF LEAFS TEMPLATES TO A PVB REPLICA OF NON-WETTING SURFACES	
Rosely Santos de Queiroz Elibe Silva Souza Negreiros Sílvio Barros de Melo Severino Alves Júnior Petrus d'Amorim Santa Cruz Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 45**

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE PROSIMPLUS® PARA SIMULAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONVENCIONAL**

Tatiana da Silva Sant'Ana  
Thaís Cardozo Almeida  
Sávio de Meneses Leite Asevedo  
Isabella Muniz Monteiro Neves  
Elisa Barbosa Marra  
Camilla Rocha de Oliveira Fontoura  
Moisés Teles Madureira  
Cristiane de Souza Siqueira Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.3091916046**

**CAPÍTULO 7 ..... 54**

**REMOÇÃO DE CIANOTOXINAS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO**

Maria Virgínia da Conceição Albuquerque  
Amanda da Silva Barbosa Cartaxo  
Ana Alice Quintans de Araújo  
Regina Wanessa Geraldo Cavalcanti Lima  
Kely Dayane Silva do Ó  
Wilton Silva Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.3091916047**

**CAPÍTULO 8 ..... 65**

**REMOÇÃO DE EFLUENTE AZUL DE METILENO A PARTIR DA INCLUSÃO DO ADSORVENTE FORMADO POR ÓXIDO DE GRAFITE MISTURADO EM AREIA**

Daniel Mantovani  
Aline Takaoka Alves Baptista  
Luís Fernando Cusioli  
Paulo Cardozo Carvalho Araújo  
Renan Araújo De Azevedo

**DOI 10.22533/at.ed.3091916048**

**CAPÍTULO 9 ..... 73**

**REPRODUÇÃO E PREFERÊNCIA DE *Callosobruchus maculatus* (FABRICIUS) (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) SUBMETIDOS A EXTRATOS DE *Caesalpinia pyramidalis* Tul**

Delzuite Teles Leite  
Adcleia Pereira Pires  
Fabricio Chagas Sobrinho  
Claudia Oliveira dos Santos  
Edson Braz Santana

**DOI 10.22533/at.ed.3091916049**

**CAPÍTULO 10 ..... 79**

**SOLUÇÃO BIOTECNOLÓGICA APLICADA EM REDE DE TRANSPORTE DE ESGOTO PARA REDUÇÃO DE GÁS ODORÍFICO (H<sub>2</sub>S)**

Abraão Evangelista Sampaio  
Almira dos Santos França Carvalho  
Marylia Albuquerque Braga  
Marcius Guimarães Pinheiro de Lemos

**DOI 10.22533/at.ed.30919160410**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>89</b>
PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS ARGILO-POLIMÉRICOS PARA O REUSO DE ÁGUA	
Roberto Rodrigues Cunha Lima Gabriela Medeiros dos Santos Paulla Beatriz França de Sousa Paulo Douglas Santos de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>101</b>
ANÁLISE DE FALHAS E RISCOS AMBIENTAIS: O USO DA FERRAMENTA FMEA NA IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NO CAMPUS JOÃO PESSOA DO IFPB	
Jéssica Silva Ramalho Adriano Lucena da Silva Maria Deise da Dores Costa Duarte	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>111</b>
ANÁLISE DE EFICIENCIA DE UM COLETOR SOLAR PVT POR SIMULAÇÃO NUMÉRICA COM BASE NO MAPA SOLARIMETRICO DE MINAS GERAIS	
Geisiane Aparecida de Lima Fábio Moreira Teixeira Marcos Vinícius da Silva Rudolf Huebner Lucas Paglioni Pataro Faria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>120</b>
ANÁLISE DE FOURIER PARA IDENTIFICAÇÃO DOS PERÍODOS DOMINANTES INTRADIÁRIOS DO FLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO NA FLORESTA DE TRANSIÇÃO EM SINOP-MT	
Stéfano Teixeira Silva Sergio Roberto de Paulo Adriel Martins Lima Leomir Batista Neres Ricardo Vanjura Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>134</b>
LEVANTAMENTO DAS ETNOVARIEDADES DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA CRANTZ</i> ) NOS ECOSISTEMAS DE TERRA FIRME NAS COMUNIDADES DO LAGO DO ANTÔNIO, PROJETO DE ASSENTAMENTO AGROEXTRATIVISTA SÃO JOAQUIM –HUMAITÁ/AM	
Erika Micheilla Brasil Aurelio Diaz Sonia Maria Bezerra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160415</b>	



<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>141</b>
MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO NA ATMOSFERA POR AMOSTRAGEM PASSIVA COMO PARTE DA GESTÃO AMBIENTAL EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR	
Karina Stella da Silva Ferreira dos Santos Aurora Mariana Garcia de Franca Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>148</b>
NANOGERADORES TRIBOELÉTRICOS: NOVOS DISPOSITIVOS PARA ENERGY HARVESTING	
Nilsa Toyoko Azana Pei Jen Shieh Talita Mazon Natanael Lopes Dias Antônio Carlos Camargo do Amaral	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160417</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>157</b>
NANOTUBOS DE TITANATO DE SÓDIO E NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO: SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO NA REMEDIAÇÃO DE EFLUENTESCONTENDO O CORANTE RODAMINA B	
Francisco Xavier Nobre Rosane dos Santos Bindá Elton Ribeiro da Silva Rodrigo Muniz de Souza José Milton Elias de Matos Lizandro Manzato Yurimiler Leyet Ruiz Walter Ricardo Brito Paulo Rogério da Costa Couceiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>175</b>
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR	
Marcelo Vitor Ferreira Machado José Brant de Campos Marilza Sampaio Aguilar Vitor Santos Ramos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>184</b>
BATERIAS LI-O <sub>2</sub> E A INFLUÊNCIA DE ESTRUTURAS CATALÍTICAS AO ELETRODO DE OXIGÊNIO	
Gustavo Doubek Leticia Frigerio Cremasco André Navarro de Miranda Lorrane Cristina Cardozo Bonfim Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160420</b>	

<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>197</b>
BIOSENSORES À BASE DE ÓXIDOS METÁLICOS TRANSPARENTES: TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO (FETS) E NANOFIOS	
Cleber Alexandre de Amorim Kate Cristina Blanco Ivani Meneses Costa Adenilson José Chiquito	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160421</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>214</b>
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E TÉRMICAS DE BLENDA POLIMÉRICAS DE PHBV COM ELASTÔMEROS	
Fernanda Menezes Thais Ferreira da Silva Fábio Roberto Passador Ana Paula Lemes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916042122</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>227</b>
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS DE TAMARILHO EM FUNÇÃO DO ENSACAMENTO	
Fábio Oseias dos Reis Silva José Darlan Ramos Nathalia Vállery Tostes Iago Reinaldo Cometti Alexandre Dias da Silva Letícia Gabriela Ferreira de Almeida Renata Amato Moreira Miriã Cristina Pereira Fagundes Verônica Andrade dos Santos Giovani Maciel Pereira Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916042123</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>233</b>
CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E QUALIDADE FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE JACARANDÁ-DA-BAHIA ( <i>Dalbergia nigra</i> (VELL.) FR. ALL. EX BENTH.)	
Tatiana Reis dos Santos Bastos Jacqueline Rocha Santos Cleidiane Barbosa dos Santos Jerffson Lucas Santos Otoniel Magalhães Morais	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916042124</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>239</b>
ESTUDO COMPARATIVO DE PEROVSKITAS CATALÍTICAS OBTIDAS POR MÉTODOS QUÍMICOS MOLHADOS PARA CONVERSÃO DOS COV'S	
Cássia Carla de Carvalho Anderson Costa Marques Alexandre de Souza Campos Felipe Olobardi Freire Filipe Martel de Magalhães Borges	

Juan Alberto Chavez Ruiz

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042125**

**CAPÍTULO 26 ..... 249**

**AVALIAÇÃO DE METAIS EM SEDIMENTOS DA MICRO BACIA TIETÊ BATALHA  
POR MEIO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)**

Ana Maria Taddei Cardoso de Barros

Paulo Cesar Lodi

José Eduardo Taddei Cardoso

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042126**

**CAPÍTULO 27 ..... 261**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA ZONA INDUSTRIAL DO MENDANHA,  
CAMPO GRANDE, RJ**

Ana Cláudia Pimentel de Oliveira

Alessandra Matias Alves

Aron da Silva Gusmão

Devyd de Oliveira da Silva

Tatiane Vieira de Menezes Coelho

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042127**

**CAPÍTULO 28 ..... 271**

**AVALIAÇÃO ECOTÓXICOLOGICA DE EFLUENTES NA ZONA INDUSTRIAL DE  
SANTA CRUZ, RJ**

Ana Cláudia Pimentel de Oliveira

Tatiane Vieira de Menezes Coelho

Sirléia Conceição de Medeiros

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042128**

**CAPÍTULO 29 ..... 283**

**INFLUENCE OF DIFFERENT PERCENTAGES OF ALUMINA ADDITION IN THE  
HIGH ENERGY BALL MILLING PROCESS OF THE AISI 52100 STEEL**

Bruna Horta Bastos Kuffner

Gilbert Silva

Carlos Alberto Rodrigues

Geovani Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042129**

**CAPÍTULO 30 ..... 290**

**ON THE ASSESSMENT OF DYE RETENTION IN QUARTZ-BASED CERAMIC  
POROUS MATERIAL BY OPTICAL FIBER SENSOR**

Marco César Prado Soares

Murilo Ferreira Marques Santos

Egont Alexandre Schenkel

Beatriz Ferreira Mendes

Gabriel Perli

Samuel Fontenelle Ferreira

Eric Fujiwara

Carlos Kenichi Suzuki

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042130**

<b>CAPÍTULO 31 .....</b>	<b>296</b>
<b>APLICAÇÃO DE ÓXIDOS CONDUTORES TRANSPARENTES PARA DETECÇÃO DE PRODUTOS ENZIMÁTICOS MICROBIANOS</b>	

Cleber Alexandre de Amorim  
Kate Cristina Blanco

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042131**

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>311</b>
------------------------------------	------------



## BIOSENSORES À BASE DE ÓXIDOS METÁLICOS TRANSPARENTES: TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO (FETS) E NANOFIOS

### **Cleber Alexandre de Amorim**

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências e Engenharia  
Tupã – São Paulo

### **Kate Cristina Blanco**

Universidade de São Paulo, Instituto de Física de  
São Carlos  
São Carlos – São Paulo

### **Ivani Meneses Costa**

Universidade Federal de São Carlos,  
Departamento de Física  
São Carlos – São Paulo

### **Adenilson José Chiquito**

Universidade Federal de São Carlos,  
Departamento de Física  
São Carlos – São Paulo

**RESUMO:** A autossuficiência na produção de alimentos do Brasil só foi atingida na década de 1970, graças ao alto investimento público em pesquisa e desenvolvimento, extensão rural e facilidade de crédito. Foi neste período que houve a criação da empresa estatal EMBRAPA para fomentar o desenvolvimento no campo. Grande parte desse crescimento se deu no uso de tecnologias que otimizaram a produção agrícola. Um dos gargalos atuais está na automatização dos processos de produção, bioprocessos. O monitoramento de bioprocessos será de grande importância

para a produção de insumos agrícolas, como os fertilizantes. Neste contexto, este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica do uso de transistores de efeito de campo, FET, à base de óxidos condutores e de dispositivos que utilizam nanofios como eletrodos. No primeiro caso veremos que os FETs têm um grande potencial por ser multiparamétrico, ou seja, há diferentes formas de quantizar o processo, basta olhar para o parâmetro que melhor representa o sensoriamento. Por outro lado, os dispositivos à base de nanofios apresentam somente a condutividade como parâmetro, no entanto, a grande relação volume-superfície faz destes altamente sensíveis com ganhos relativos acima de milhares de vezes. Por fim apresentamos alguns resultados inéditos mostrando o comportamento dos biosensores mencionados anteriormente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biosensores, Bioprocessos, Transistores, Nanofios

**ABSTRACT:** Self-sufficiency in food production in Brazil was only achieved in the 1970s, thanks to high public investment in research and development, rural extension and credit facility. It was during this period that the state company, EMBRAPA, it was created to foster development in the countryside. Much of this growth was in the use of technologies that optimized agricultural production. One of the current bottlenecks is in

the automation of production processes, bioprocesses. Monitoring of bioprocesses will be of great importance for the production of agricultural inputs, such as fertilizers. In this context, this work presents a bibliographic review of the use of field effect transistors, FET, based on conductive oxides and devices that use nanowires as electrodes. In the first case we will see that FETs have great potential because they are multiparametric, that is, there are different ways of quantizing the process, just look at the parameter that best represents the sensing. On the other hand, nanowire-based devices have only conductivity as a parameter, however, the large surface-volume ratio makes these highly sensitive with relative gains over thousands of times. Finally, we present some unpublished results showing the behavior of the biosensors mentioned previously.

**KEYWORDS:** Biosensors, Bioprocess, Transistors, Nanowires

## 1 | INTRODUÇÃO

A percepção de que a Terra é um sistema abrangente, coeso e integrado, do qual é possível observar as relações entre partes vivas e não vivas vem evoluindo desde os anos 60, tendo como ponto de partida a conferência de Estocolmo em 1972 (DE PASSOS, 2009). Posteriormente, em 1992 no Rio de Janeiro marcou-se a forma como os seres humanos encaram sua relação com o planeta. Na conferência, Eco-92, a comunidade política internacional entendeu a necessidade de aliar o desenvolvimento socioeconômico com o uso dos recursos naturais (DE OLIVEIRA, 2011). Dez anos após a ECO-92 a reunião mundial sobre o meio ambiente se deu em Joanesburgo, onde se reafirmou o desenvolvimento sustentável com a agenda internacional principal, além do combate à pobreza e à proteção ambiental (SEQUINEL, 2002). Podemos dizer que este ciclo de consciência ambiental finalizou na conferência de 2012, Rio+20, onde foram definidos, entre outros, seis objetivos para alcançar o desenvolvimento sustentável (GRIGGS et al., 2013) argue David Griggs and colleagues. life-support system and poverty reduction must be the twin priorities for SDGs. It is not enough simply to extend MDGs, as some are suggesting, because humans are transform-ing the planet in ways that could undermine development gains. As mounting research shows, the stable functioning of Earth systems — including the atmosphere, oceans, forests, waterways, biodiversity and biogeochemical cycles — is T he United Nations Rio+20 summit in Brazil in 2012 committed govern-ments to create a set of sustainable development goals (SDGs):

- i. Acabar com a pobreza e melhorar o bem-estar através do acesso à educação, emprego e informação, melhor saúde e habitação, e reduzir a desigualdade, enquanto caminha para um consumo e produção *sustentáveis*;
- ii. Acabar com a fome e alcançar a segurança alimentar a longo prazo - incluindo uma melhor nutrição – através de sistemas *sustentáveis* de produção, distribuição e consumo;

- iii. Alcançar o acesso universal à água potável e ao saneamento básico e assegurar uma alocação eficiente por meio do gerenciamento integrado dos recursos hídricos;
- iv. Melhorar o acesso universal e acessível a energias limpas que minimizem a poluição local e os impactos na saúde e mitiguem o aquecimento global;
- v. *Sustentar* a biodiversidade e serviços ecossistêmicos através de uma melhor gestão, avaliação, medição, conservação e restauração;
- vi. Transformar a governança e as instituições em todos os níveis para abordar as outras cinco metas de desenvolvimento *sustentável*.

Nota-se, segundo a definição de Griggs et.al., o termo sustentável é recorrente. Dessa forma, não basta apenas atingir as metas mencionada, mas obtê-las de forma que não se degrade mais o planeta do que se vem fazendo. Muito se vem discutindo em torno de métodos mais eficientes de produção de alimentos quem envolvam ciência, movimento e prática. O termo que abrange este método é conhecido como agroecologia. O termo foi primeiramente mencionado em publicações científicas por Bensing em 1928 e 1930 (BENSING, 1928, 1930) e mais recentemente em uma publicação de Altieri (ALTIERI, 2018). Desde então o termo agroecologia tem sido cada vez mais utilizado. Por exemplo, a ocorrência do termo agroecologia na base de dados Scopus aumentou de menos de dez citações até a década de 1960 para mais de 13 mil menções na década corrente. O que indica claramente uma grande fonte potencial de novas informações e perspectivas na agricultura e nos sistemas alimentares. O termo agroecologia é usado atualmente com significados bastante diferentes, o que se deve ao fato de ter abordagem distintas em culturas diferentes.

O ponto comum na evolução dos EUA em agroecologia foi encontrar uma base científica para novos sistemas agrícolas alternativos. Para o caso do Brasil, uma ruptura clara também pode ser mencionada. A expansão dos diferentes movimentos agrícolas dos agricultores nos anos 1980 e 1990 foi finalmente traduzida em movimentos agroecológicos cujos interesses comuns foram canalizados sob o termo agroecologia. Em contraste com os EUA e o Brasil, os diferentes tipos de movimentos não foram o ponto de partida para os movimentos agroecológicos na França e na Alemanha, ou não provocaram uma reação clara à pesquisa agroecológica. Isso pode ser explicado pelo fato de que os problemas agrícolas na Europa interessavam ou preocupavam apenas uma parte limitada da população. No Brasil, pelo contrário, uma grande parte das pessoas está envolvida na agricultura, e as questões da pobreza rural e das disparidades na posse da terra agrícola ainda são tópicos importantes.

O Brasil, atualmente, está preparado para desempenhar um papel central no alcance das metas estabelecidas pelos países membros da ONU, que tem como objetivo alcançar até 2030 um planeta mais próspero, equitativo e saudável. Para desempenhar tal papel é importante passar por alguns pontos que evidencia a evolução do Brasil no setor agrícola. Basta lembrar que nas últimas 5 décadas o Brasil passou

de importador de alimentos para exportador, alimentando mais de 1,5 bilhões de pessoas no mundo. Ocasionalmente em preços mais acessíveis, aumento de empregos e aumentando a participação da agricultura no Produto Interno Bruto (PIB).

Em meados do século passado o retrato da agricultura brasileira era precário. Menos de 2% das propriedades rurais usavam maquinários agrícolas, a soja era somente uma curiosidade, e sem expressão tanto no mercado interno quanto externo. Edward Schuh (SCHUH, 1971), em 1971, percebeu que faltava conhecimento sobre os solos tropicais e como utilizá-los da melhor forma, evidenciando a pouca pesquisa feita sobre resposta do solo, do rebanho à aplicação de níveis crescentes de razão entre outros. O resultava em um baixo rendimento por hectare e pouca produção, lembrando que práticas inadequadas causaram inúmeros impactos ambientais, como erosão e assoreamento, sem aumentar a produção na época. Durante a década de 1970 o país vivia um período de grande industrialização, com expansão das cidades, aumento da população e maior poder aquisitivo, no entanto o contexto era de escassez de alimentos (ESTADO DE SÃO PAULO, 1968).

Após este período foi instituído políticas específicas com a finalidade de aumentar a produção e produtividade no campo. Acarretando em maiores investimentos públicos em pesquisa e desenvolvimento, extensão rural e facilidade de crédito. Por exemplo, foi neste período que ocorreu a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (EMBRAPA, 2017). O que melhor exemplifica o rápido crescimento agropecuário brasileiro são os números referentes a produção e os índices de produtividade. A Figura 2a mostra o rendimento médio em toneladas por hectare da produção dos principais grãos brasileiros. Destaque para a produção de milho e arroz que teve um crescimento superior a 500 % no período da década de 1970 até 2017. A Figura 2b ilustra bem o efeito do investimento em pesquisa e mecanização agropecuária, enquanto a área plantada teve um crescimento de aproximadamente 150 % a produção obteve um aumento superior a 600 %. O que evidência que as medidas tomadas em meados da década de 1960 surtiram efeito na produção agropecuária brasileira, colocando o país em uma posição de destaque na produção de alimento mundial (EMBRAPA, 2018).

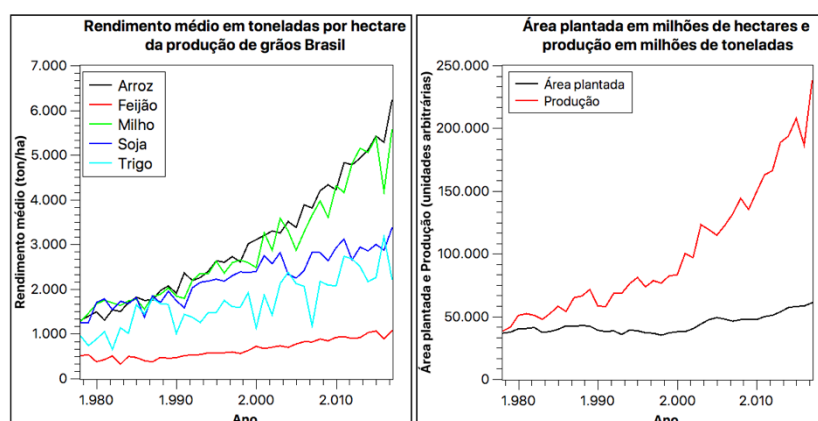


Figura 1 – na figura temos (a) rendimento médio em toneladas por hectare da produção dos principais grãos no Brasil, enquanto que em (b) temos a relação entre a área plantada, em milhões de hectares, e a produção total desses grãos, em milhões de toneladas; em ambos os



O Brasil é um país com grande disponibilidade de recursos naturais, com extensas áreas de plantio e pastagem com grande oferta de água, calor e luz, elementos essenciais para uma boa produção agropecuária. No entanto, o que mais fez a diferença foram os investimentos em pesquisa agrícola, trazendo avanços nas ciências, tecnologias adequadas e inovações, a objetividade de políticas públicas e a competência dos produtores. A produção da soja ilustra bem o uso da tecnologia para transformar a produção agropecuária. Devido ao clima os primeiros cultivos da soja se deram no Rio Grande do Sul, na década de 1960. Cultivá-la fora deste estado era um desafio biológico e tecnológico. Tal problema foi contornado graças a anos de pesquisas realizadas pela Embrapa, universidades, instituições estaduais de pesquisa agropecuária e, posteriormente pela iniciativa privada (BONATO; BONATO, 1987; FREITAS, 2011). Foram desenvolvidas plantas de soja adequadas às condições de solo e clima do Brasil, utilizando técnicas de melhoramento genético. Foi possível obter plantas menos sensíveis aos dias longos e mais tolerantes às pragas que se tinha nos trópicos.

O uso de fertilizantes é outro exemplo da aplicação de investimento em pesquisa e tecnologia pode ajudar no aumento da produção agrícola. Fertilizantes nitrogenados são responsáveis por cerca de 40% da oferta de alimentos no mundo. No entanto, seu uso no Brasil acarretou em uma alta dependência desse insumo nas importações. O uso de uma tecnologia para fixar o nitrogênio do ar nas raízes das plantas por meios de bactérias, Fixação biológica de Nitrogênio (FBN), o que corresponde hoje a 75% da área cultivada de soja é responsável por uma economia da ordem de bilhões de reais por ano na compra de fertilizantes.

Como vimos nos parágrafos anteriores o investimento em pesquisa foi a diferença do Brasil sair de um país importador de alimentos para um dos maiores expoentes na produção de alimentos. Dentre as tecnologias mais utilizadas há um destaque para os sensores e biosensores. Destaca-se estes últimos, pois o uso de microrganismos atualmente vem chamando a atenção na biotecnologia como fator para aumentar a produtividade agropecuária (PANESAR; KAUR; PANESAR, 2015) seeds, whey, waste liquid, molasses, bagasse, and so on. The generated waste is not only biodegradable in nature but also rich in nutrient components (carbohydrates, proteins, fibers, minerals, vitamins, etc.. Estes microrganismos atuam em operações que incluem deste tratamento de matéria prima, transformação de substrato em produtos, processos de produção todos mediante ação de células animais ou vegetais e enzima. Todos estes processos exigem monitoramento em tempo real do que está sendo gerado no processo, para isso os biosensores são elementos de extrema importância nestes sistemas.

## 2 | A ENZIMA CICLODEXTRINA GLICOSILTRANSFERASE

As enzimas são catalizadores de processos biológicos. As amilases são enzimas que clivam especificamente o amido e compostos relacionados por hidrólise das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e/ou  $\alpha$ -1,6 (WIND et al., 1995) recently reclassified as *Thermoanaerobacterium thermosulfurigenes*, clearly demonstrated that the enzyme is a cyclodextrin glycosyltransferase (CGTase. A ciclodextrinas glicosiltransferase (CGTase, EC 2.4.1.19) é uma amilase que possui atividades adicionais além das propriedades amilolíticas. A CGTase é uma enzima multifuncional capaz de converter amido em ciclodextrinas e derivados (TONKOVA, 1998). Realiza a ciclização (conversão de amido  $\alpha$ -1,4-glucanos em ciclodextrinas por meio da reação de transglicosilação intramolecular), acoplamento (abrindo os anéis das ciclodextrinas e transferindo os malto-oligossacarídeos lineares formados para os aceptores) e desproporcionalização por meio da reação de transglicosilação intermolecular (TONKOVA, 1998). A reação de ciclização do amido ou derivados catalisados pela CGTase resulta em uma mistura de oligossacarídeos cíclicos formados referente  $\alpha$ -  $\beta$ - e  $\gamma$ -CDs. As CGTases são classificadas como  $\alpha$ -  $\beta$ - e  $\gamma$ -CGTases, baseado em seu principal produto formado as  $\alpha$ -  $\beta$ - e  $\gamma$ - ciclodextrina (TERADA et al., 1997) EC 2.4.1.19.

### 2.1 Determinação da atividade enzimática pelo método convencional

A determinação da atividade enzimática foi realizada pelo método colorimétrico do complexo ciclodextrina-fenolftaleína. As amostras de enzima em solução com o substrato, os amidos são retirados dos reatores em tempos pré-determinados de 0; 3; 6; 9 e 12 min, em seguida inativadas à 100°C em água fervente. A quantidade de ciclodextrina é dosada em função do tempo, adicionando-se a solução de fenolftaleína. A absorbância da solução final será analisada em espectrofotômetro a 550 nm. A propriedade complexante das ciclodextrinas no teste colorimétrico é baseado na formação do complexo de  $\beta$ -ciclodextrinas com a fenolftaleína, o qual produz uma variação na densidade ótica da solução, a qual pode ser medida espectrofotometricamente. A atividade enzimática será encontrada através da relação

$$A = 1000\alpha\beta F_{dil} \frac{V_{reator}}{V_{enzimático}}, \quad (1)$$

sendo:

$\alpha$  = Coeficiente angular da curva padrão ( $\mu_{mol} \cdot mL^{-1}/ABS$ )

$\beta$  = Coeficiente angular da curva obtida experimentalmente (ABS/min.).

$F_{dil}$  = Fator de diluição

### 2.2 Ciclodextrinas

As ciclodextrinas são moléculas cíclicas descobertas em 1891 por Villiers. Estudadas por Schardinger no início do século XX, elas se tornaram o tema de interesse

científico apenas no início da década de 80. As ciclodextrinas são oligossacarídeos cíclicos formados por 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 ou 13 unidades de glicose ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -,  $\epsilon$ -,  $\varphi$ -,  $\gamma$ -, ou  $\theta$ -ciclodextrinas, respectivamente). Esses resíduos de glicose estão arranjados ciclicamente devido à falta de rotação livre em nível das ligações entre as unidades de glucopiranosose. As ciclodextrinas têm uma estrutura de um cone truncado com uma cavidade revestida com prótons  $H_3$  e  $H_5$  e pares de átomos de oxigênio glicosídicos dispostos em um plano dotando a cavidade com um caráter hidrofóbico. Enquanto que no exterior dessa estrutura apresenta caráter hidrofílico, devido ser formada por hidroxilas primárias e secundárias (OH) (DEL VALLE, 2004). Portanto apresenta uma cavidade hidrofóbica, onde facilmente pode ser substituída por moléculas apolares, a moléculas hóspedes. Estas propriedades permitem a formação de complexos de inclusão com uma variedade de moléculas hidrofóbicas, como compostos orgânicos, inorgânicos e organometálicos. A formação de complexos de inclusão modifica as propriedades químicas e físicas das moléculas inclusas nas ciclodextrinas, tais como a estabilização de compostos sensíveis a luz e de compostos voláteis, melhorando propriedades de interesse industrial, tais como aromas e sabores. Esta capacidade de alterar compostos encapsulados tem levado as ciclodextrinas a várias aplicações industriais em vários setores como: química analítica (LUONG et al., 1995; PURDY, 1992), agricultura (OAKES; SHEWMAKER; STALKER, 1991), biotecnologia e fármacos (DEL VALLE, 2004).

### 3 | TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO INORGÂNICOS (TFTS)

Filmes finos de óxidos metálicos são tradicionalmente utilizados como isolantes, dielétrico e condutores em dispositivos opto-eletrônicos. Nos últimos anos, filmes finos de óxidos metálicos vêm sendo intensivamente estudados como camada ativa semicondutora em TFTs transparentes. Óxidos condutores transparentes (TCOs) tem diversas vantagens quando comparados aos semicondutores orgânicos e ao silício. TCOs apresentam um largo *bandgap*, o que os tornam transparentes na região visível do espectro eletromagnético. São estáveis à temperatura ambiente e apresentam alta mobilidade eletrônica quando comparados com o silício policristalino (FORTUNATO; BARQUINHA; MARTINS, 2012; KAMIYA; NOMURA; HOSONO, 2010) large and fast liquid crystal and three-dimensional (3D. Muitos TCOs como óxido de zinco (ZnO), óxido de índio e zinco (IZO) e óxido de gálio, índio e zinco (GIZO) vêm sendo reportados como materiais de camada ativa transparente em TFTs (FORTUNATO; BARQUINHA; MARTINS, 2012; KAMIYA; NOMURA; HOSONO, 2010; MINAMI, 2008) large and fast liquid crystal and three-dimensional (3D. A construção de TFTs à base de óxidos metálicos é realizada via deposição por *sputtering*, uma técnica relativamente elaborada, que necessita de câmara de vácuo, sistema de controle de pressão e de fluxo de gás, fonte de geração de plasma, sistema de controle de espessura e de taxa

de deposição. Recentemente, houve um aumento no número de trabalhos publicados relatando a fabricação de TFTs com alto desempenho depositados por solução, com suspensões de nanopartículas e soluções de precursores orgânicos que podem ser convertidos termicamente nos óxidos metálicos após a deposição (KIM et al., 2009). Embora o desempenho dos TFTs depositados por solução sejam inferiores aos obtidos via *sputtering*, o fácil processamento, a possibilidade de deposição em grandes áreas e a deposição controlada em regiões específicas do substrato sem a necessidade da utilização de máscaras são de grande interesse do ponto de vista tecnológico.

### 3.1 Sensores bio-químicos à base de transistores de efeito de campo

O uso de *FETs* como sensores remonta a década de 70, com a construção de um dispositivo denominado *ISFET* (*Ion Sensitive Field Effect Transistor*) – (Figura 3a) - apresentado por Bergvelt (BERGVELD, 1970). Neste dispositivo, o autor substituiu a *gate* convencional de silício por uma solução eletrolítica visando a detecção de íons de sódio em aplicações médicas. As alterações no potencial de *gate* modifica a condutividade no canal do transistor evidenciando assim um efeito sensorial desses dispositivos. Se uma variação no potencial ( $V$ ), ocorre na interface eletrólito/dielétrico, isso refletirá na curvatura da banda na interface dielétrico/semicondutor, levando a uma variação da carga,  $Q = C_{ins} V$ , onde  $C_{ins}$  é a capacitância associada à camada dielétrica. Dependendo do sinal do potencial na interface eletrólito/dielétrico, a carga no canal será aumentada (acumulação) ou será diminuída (depleção), por esta quantidade.

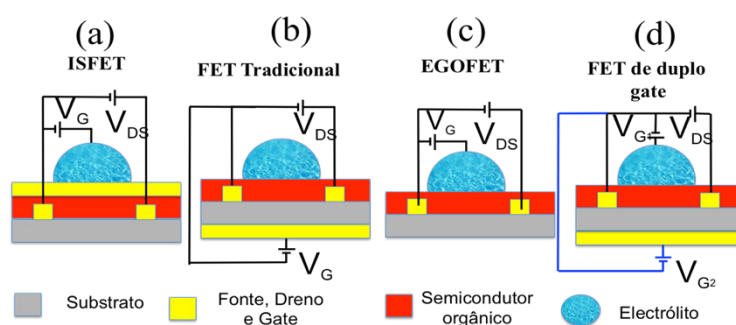


Figura 3 – Principais arquiteturas dos sensores biológicos à base de dispositivos do tipo FETs encontrados na literatura.

Outras arquiteturas envolvendo a performance sensorial dos transistores de efeito de campo foram desenvolvidas. Como o proposto por Someya e cols. (SOMEYA et al., 2002), o autor reportou a fabricação de um FET do tipo bottom-gate, que continha ainda uma solução aquosa disposta sobre o canal do transistor (Figura 3b). Para o funcionamento deste dispositivo era necessário que os eletrodos de fonte e dreno fossem protegidos do contato com a água. Com este FET os autores detectaram ácido láctico e glicose explorando a interação destas moléculas com os contornos de grão do material semicondutor. Outra estrutura utilizada para a detecção de substâncias bio-químicas e também na configuração de uma dupla camada elétrica na operação



de sensores de efeito de campo são os EGOFETs (Electrolyte-Gated Organic Field-Effect Transistors) (KERGOAT et al., 2012) (Figura 3c). Kergoat e cols. demonstraram a possibilidade de controlar o potencial elétrico ao longo de um transistor contendo apenas o semicondutor em contato com o eletrólito. Quando aplicado um potencial elétrico entre o eletrodo de gate e o canal do semicondutor, uma dupla camada elétrica será induzida na interface eletrólito/semicondutor (CRAMER et al., 2012). Em geral, os EGOFETs operam a uma baixa voltagem ( $< 1$  V), o que evita reações de eletrólise da água (CRAMER et al., 2012; KERGOAT et al., 2012). As estruturas apresentadas até aqui têm como finalidade alterar a condutividade do canal do transistor. Já os FETs com duplo gate (Figura 3d) tem como parâmetro sensorial a voltagem threshold ( $V_{th}$ ) do dispositivo, ganhando maior sensibilidade. Qualquer introdução de substâncias bio-químicas que venham a ocorrer em uma das duas superfícies do transistor e que causaria uma variação na  $V_{th}$  deste, é amplificado pela contribuição da capacitância da dupla camada elétrica formada na interface gate imerso/eletrólito, refletindo em uma variação na voltagem threshold ( $V_{th}$ ) ainda maiores (TONKOVA, 1998).

As arquiteturas listadas acima são as principais que se pode encontrar na literatura, mostrando que dispositivos de efeito de campo são muito atrativos para sua utilização como sensores bio-químicos. Deve-se a isso sua versatilidade de arquiteturas disponíveis, além da possibilidade de explorar a funcionalização de diversas superfícies do dispositivo. Essas características, associadas ao caráter multi-paramétrico e de amplificação destes dispositivos, permitem avanços na fabricação de sensores que vão ao encontro as necessidades impostas em aplicações reais, como rápida resposta, seletividade e alta sensibilidade.

### 3.2 Caracterização sensorial dos TFTs

Há diferentes maneiras de aferir a resposta sensorial de um *TFT*, eventos biológicos em uma das interfaces do dispositivo que envolva cargas elétricas (produção, remoção ou a polarização) podem ser detectados. Esses processos são geralmente visualizados em mudanças na operação do dispositivo, dessa forma atuando como sensor. *TFTs* utilizados como sensores biológicos são ainda mais interessantes, pois a interação com tais substâncias tende a modificar a mobilidade do semicondutor, a razão *On/Off* do dispositivo ou a voltagem limiar ( $V_{th}$ ), etc. Além do mais, pode aumentar a capacidade intrínseca de amplificação destes que proporciona limites de detecção muitos baixos.

Na geometria dos *EGOFETs* o semicondutor é exposto ao eletrólito e o potencial elétrico entre os *gate* imerso e o canal do transistor é o responsável pelo seu funcionamento. Nestes dispositivos é possível explorar aplicações sensoriais tanto nos eventos na superfície do semicondutor quando no *gate*. Na primeira aplicação a modificação da superfície do semicondutor afeta a eficiência do transporte de carga neste ou ainda causa alguma degradação no material. Enquanto que, a segunda

estratégia, além de evitar qualquer dano ao semicondutor, permite explorar o uso de diferentes metais, monocamadas ou outras técnicas de modificações de superfície. Neste caso, o controle da corrente no canal é realizado pelo potencial do *gate* em solução. Quando um eletrodo de *gate* polarizável é imerso em uma solução eletrolítica, uma dupla camada elétrica (DCE) de espessura da ordem de alguns angstroms, é formada na interface devido a diferenças de potencial eletroquímico entre os dois meios. Devido a essa pequena espessura da DCE o dispositivo apresentará capacitâncias da ordem de  $\mu\text{F}/\text{cm}^2$  que atua como camada dielétrica. Esta alta capacitância dá aos *EGOFETs* voltagens de operação abaixo de 1 V evitando reações de eletrólise da água que danificariam o semicondutor.

### 3.3 Potencialidade do FET com canal à base de óxido de zinco como sensor de glicose

A Figura 4a mostra um FET na configuração tradicional, onde a solução irá interagir com a camada ativa do óxido metálico fornecendo ou removendo elétrons para a condução do transistor. A caracterização típica de um transistor consiste de duas curvas básicas:  $I_{\text{DS}} \times V_{\text{DS}}$  para diferentes valores de  $V_{\text{G}}$  e  $I_{\text{DS}} \times V_{\text{G}}$  para valores fixo de  $V_{\text{DS}}$ . Para ilustrar a aplicação dos FETs com camada ativa à base de óxidos metálicos a Figura 4b mostra uma das curvas de caracterização apresentadas acima. Nela aplicamos um potencial  $V_{\text{DS}} \sim 25 \text{ V}$ , variamos o potencial de  $V_{\text{G}}$  no intervalo de -20 a 30 V e medimos a corrente no canal  $I_{\text{DS}}$ .

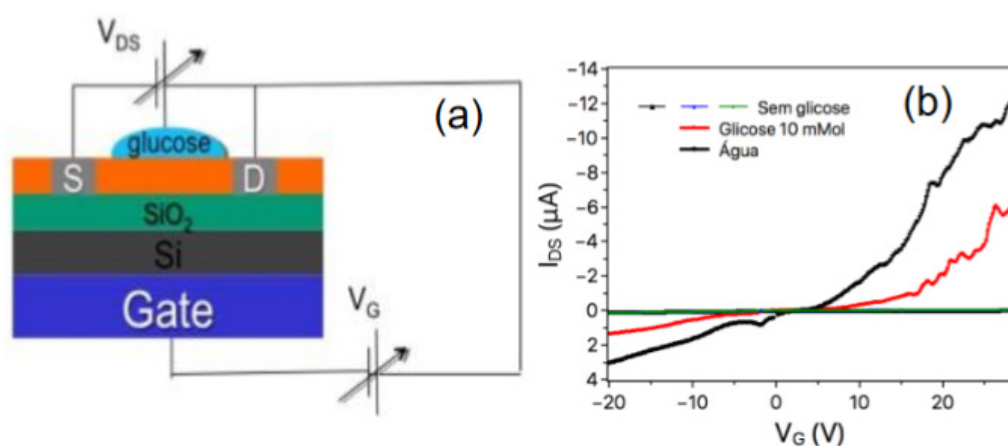


Figura 4 – (a) Circuito de medidas sensórias para o transistor de efeito de campo na configuração EGOFET; em (b) Curvas  $I_{\text{DS}}$  vs.  $V_{\text{G}}$  em atmosfera ambiente, água e solução de glicose.

A Figura 4a apresenta uma curva de  $I_{\text{DS}}$  vs.  $V_{\text{G}}$  em três diferentes situações:

1. Curvas em verde: medida realizada sem água ou solução de glicose em contato com a camada ativa do transistor;
2. Curva em preto: medida realizada com água (solvente) sobre o canal do transistor;
3. Curva em azul: repetiu-se a primeira;

4. Curva em vermelho: medida realizada com uma solução de glicose sobre o canal do transistor;

5. Curva em roxa: a mesma da primeira e terceira curvas.

O objetivo dessa sequência foi mostrar que a variação da condutividade do canal está diretamente relacionada com a presença do material colocado sobre a camada ativa. Após a sequência 1, realizou-se uma medida sob a presença de água, pois assim verificou-se a influência do solvente na condutividade do canal. É evidente o aumento na corrente do canal na presença da água, credita-se esse aumento ao fato que os íons de hidrogênio presentes na água fornecem elétrons livres à condução. Em seguida a amostra foi seca, com jato de ar frio, e realizou-se uma caracterização nas mesmas condições que a medida 1 e obtendo uma resposta similar. A configuração 4 foi feita sob a presença da solução de glicose, e assim como à realizada para a água, houve um aumento na condutividade do canal, porém menor do que no caso onde somente o solvente foi utilizado. Uma possível explicação dá-se ao fato que as moléculas de glicose possam ter se ligado aos íons de hidrogênio, dessa forma menos elétrons foram fornecidos à condutividade. Por fim, situação 5, secou-se novamente a amostra e repetiu a medida, como em 1 e 3, é notório que o resultado obtido é devido a presença das soluções de glicose e do solvente.

Estes resultados ilustra a potencialidade do uso de FETs para o monitoramento de bioprocessos. No caso de enzimas, como a ciclodextrina glicosiltransferase, que é formada por várias unidades de glicose espera-se que o dispositivo testado tenha resultados similares. Estes testes foram realizados para dispositivos formados à base de nanofios de óxido de estanho ( $\text{SnO}_2$ ) que é um óxido condutor transparente.

## **4 | BIOSENSORES À BASE DE NANOFIOS DE ÓXIDOS CONDUTORES TRANSPARENTE (TCOS)**

Nanofios de TCOs têm encontrado aplicações em diferentes áreas., transistores de efeito de campo (NGUYEN et al., 2004; SUH et al., 2008; SUN et al., 2009; WAN; DATTOLI; LU, 2007), fotodetectores (GUDI KSEN et al., 2002) sensores químicos, biológicos e de luz, graças a sua grande relação área/volume, o que permite a transferência de elétrons entre as moléculas/partículas incidentes e sua superfície (MCALPINE et al., 2007; PATOLSKY; ZHENG; LIEBER, 2006; WOLFBEIS, 2008).

Sensores bio-químicos do tipo conductométrico, estão entre os mais estudados, eles alteram a conductividade da camada ativa. Estes sensores são conhecidos desde à década de 1950, quando efeitos da reação dos óxidos metálicos com a atmosfera ao seu entorno, foram observados (BIELAŃSKI; DERENÍ; HABER, 1957; HEILAND, 1957; SEIYAMA et al., 1962) e posteriormente o primeiro sensor de gás comercial o qual varia a impedância quando exposto à gases como hidrogênio, monóxido de carbono, vapores de álcool e gasolina, e de fumaça (TAGUCHI, 1972). Desde então, esses

sensores atraíram a atenção de pesquisadores que trabalham com sensores, devido ao baixo custo de fabricação, à simples preparação e operação e ao grande número de possíveis detecções e aplicações, juntamente com a possível miniaturização do dispositivo. A melhoria da sua sensibilidade, seletividade, estabilidade e velocidade (isto é, as taxas de resposta e de recuperação) continua a ser um desafio. A interação entre moléculas de gás e a camada de óxido metálico ocorre em sua superfície; portanto, os átomos da superfície são cruciais para um maior desempenho de detecção química. Nanofios, podem ser monocristalinos e ter orientações cristalinas bem definidas, levando a reações controladas e maior estabilidade. A dinâmica de resposta deve ser mais rápida em comparação com o seu homólogo policristalino, porque não há necessidade de difusão de gás, prejudicial para a superfície de reação. Finalmente, alguns dos efeitos interessantes que podem ser exploradas na detecção bio-química (tal como auto-aquecimento) existe apenas para a morfologia de nanofios.

As principais características que um sensor ideal deve ter incluem operação à temperatura ambiente, sistemas de aquecimento ou radiação para facilitar a resposta ou recuperação de dinâmicas, baixos limites de detecção, alta sensibilidade e seletividade, alta reprodutibilidade, resposta rápida e recuperação e baixo custo. Diversos estudos para melhorar o desempenho dos biosensores vêm sendo realizados no decorrer da última década, entre estes os de óxidos de estanho vem ganhando uma atenção especial por diversas propriedades, como por exemplo, Kolmakov et al. relataram as propriedades de sensoriamento de nanofios individuais de SnO<sub>2</sub> de O<sub>2</sub> e CO (KOLMAKOV et al., 2003). Os autores observaram que a exposição ao oxigênio recriou os estados aceitadores de superfície, reduzindo assim a condutância do nanofio e restaurando o formato da curva de condutância vs. temperatura. Por outro lado, gases combustíveis como CO reagem com as espécies de oxigênio pré-adsorbido para formar o monóxido de carbono, o que reduz a concentração de oxigênio superficial doando alguns elétrons novamente para o volume do nanofio o que resulta num aumento da condutividade que depende da pressão parcial da fase gasosa do CO.

Xia et. al. (WANG; JIANG; XIA, 2003) utilizando nanofios de SnO<sub>2</sub> obtiveram uma alta sensibilidade e reversibilidade na detecção de vapor de etanol, chegando até a detecção de 20 ppm na mistura com gás CO. Em 2014 utilizando uma estrutura do tipo core/shell Tharsika et. al. (THARSIKA et al., 2014) detectaram também 20 ppm de vapor de etanol na mistura com N<sub>2</sub> corroborando o trabalho de Xia et. al. e mais uma vez a detecção foi creditada a alta relação superfície/volume. Wan et. al. sintetizaram nanofios de SnO<sub>2</sub> dopados com antimônio (ATO) e o utilizaram como sensor de etanol, conseguindo detectar em uma ampla faixa de 10 a 1000 ppm à 300 °C (WAN; DATTOLI; LU, 2007). Outro material utilizado para dopar o SnO<sub>2</sub> é Rutênio, Mulla et. al. mostraram que estes nanofios eram capazes de detectar NO<sub>2</sub> e gás de petróleo liquefeito (LPG), os nanofios exibiram um comportamento sensorial de alta seletividade relativo ao NO<sub>2</sub> à temperatura ambiente (SNO et al., 2005).

Nanofios, como visto, apresentam uma grande variedade e seletividade de sensoriamento e a sua utilização deve e pode ser implementada para monitoramento de bioprocessos. Na próxima seção será apresentada o uso de biosensor à base de nanofios para monitorar a quantização de ciclodextrina, produto gerado pela enzima ciclodextrina glicosiltransferase. Em seguida compararemos estes resultados com aqueles obtidos pelos métodos tradicionais para a obtenção da atividade enzimática.

#### 4.1 Aplicação de biosensor à base de nanofios na detecção da ciclodextrina

Para ilustrar, como aplicação, o uso de nanofios como biosensores apresentamos uma caracterização corrente-tensão de um dispositivo de quatro pontas o qual utiliza um conjunto de nanofios como eletrodo de trabalho. Durante esta caracterização foi realizada os mesmos ensaios o qual todos eletrodos eram constituídos por metais somente, e não nanofios. Estas medidas são importantes para mostrar que o processo de detecção ocorre exclusivamente por causa dos eletrodos de nanofios e sua interação com a ciclodextrina.

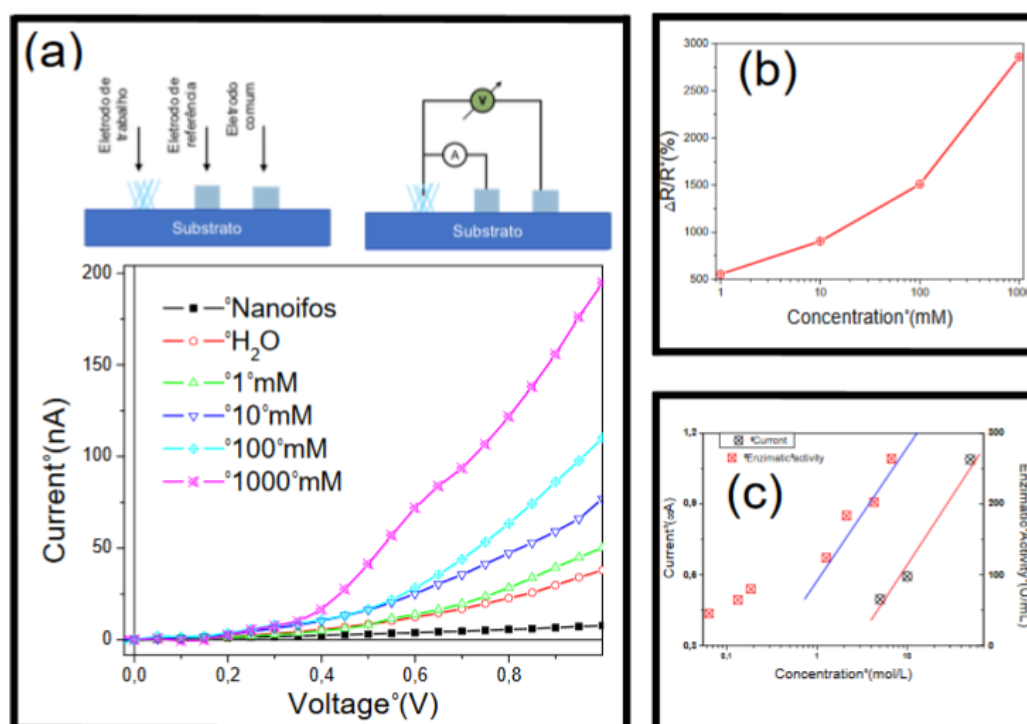


Figura 5 – O Quadro acima apresenta em (a) a caracterização dos biosensores à base de nanofios sob diferentes concentrações e ciclodextrina (1mM – 1M), na parte superior é mostrado um esquema do dispositivo utilizado e seus eletrodos e o circuito aplicado para a caracterização; (b) foi obtido a resistência relativa para um valor fixo de  $V = 0,8$  V enquanto que em (c) é comparado a corrente medida no biosensor para  $V = 0,8$  V e posta juntamente com a atividade enzimática obtido através do método colorimétrico, descrito anteriormente.

A Figura 5a apresenta uma série de curvas de corrente-tensão do biosensor a base de nanofios. No destaque da figura é apresentado um esquema do dispositivo e os eletrodos utilizados: eletrodo de trabalho, referência e comum. Para a caracterização do biosensor foi aplicado um potencial entre o eletrodo comum e o de trabalho e a respectiva corrente foi mensurada entre os eletros de referência e o de trabalho.



Na parte inferior da Figura 5a é mostrado os resultados obtidos para a detecção de ciclodextrina desde 1 mMol até 1 M. É notório a sensibilidade do dispositivo, como pode-se notar na Figura 5b, a qual apresenta um ganho relativo de aproximadamente 3000 vezes para a concentração de 1 Mol de ciclodextrina. Há um aumento no nível de corrente com o aumento da concentração de ciclodextrina. Este efeito pode ser atribuído ao fato que os grupos hidroxílicos presentes na ciclodextrina se ligam aos oxigênios derivados dos estados de interface dos nanofios de SnO<sub>2</sub>. Estas ligações liberam elétrons para participarem da condução levando a um aumento da corrente elétrica observada.

Na Figura 5c é comparado os resultados obtidos anteriormente com os encontrados através do método tradicional, colorimétrico, descrito na seção 2.1. O gráfico mostra a relação corrente x concentração de ciclodextrina e atividade enzimática x concentração de ciclodextrina produzida, ambos com a concentração em escala logarítmica. É possível notar que ambos, corrente e atividade enzimática tem uma relação linear (na escala log) com a concentração, ou seja, aumentando a concentração de ciclodextrina a corrente e atividade enzimática tende a aumentar seguindo a mesma relação. Esta propriedade nos dá indícios de que possamos relacionar ambas propriedades e assim monitorar a produção de ciclodextrina *in loco* e em tempo real. Para tanto é necessário realizar mais estudos quando ao desenvolvimento do dispositivo, como melhorar a sensibilidade, reprodutibilidade, por exemplo.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vimos que embora limitações quanto a pobreza rural e reforma agrária a agricultura brasileira está se desenvolvendo. Basta lembrar que há meio século atrás o Brasil passou de um importador de alimentos, com até escassez, para exportador de alimentos. Responsável por produzir alimentos mais de 20% da população mundial. Para atingir tal nível foi necessário investimento públicos em pesquisa e desenvolvimento, extensão rural e facilidade de crédito. Quanto ao investimento em pesquisa houve a criação da EMBRAPA no início da década de 1970. O uso de tecnologias para desenvolver melhores fertilizantes à base de nitrogênio foi essencial para uma maior produção por hectare. Para isso o uso de microrganismo foi de extrema importância para uma maior produção. No entanto, o monitoramento em tempo real do desenvolvimento destes microrganismos só será possível através do uso de biosensores. Dentre a revisão bibliográfica apresentada apresentamos a potencialidade de utilizar transistores de efeito de campo e biosensor à base de nanofios. Alguns resultados foram apontados evidenciando de que estes dispositivos têm margem para uma melhor sensibilidade e seletividade de microrganismo. Destacando as enzimas por terem um grande apelo tecnológico na cadeia produtiva.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A. **Agroecology: The science of sustainable agriculture**. [s.l.: s.n.].
- BENSIN, B. M. **Agroecological characteristics description and classification of the local corn varieties chorotypes**. [s.l.] Publisher unknown so far, 1928.
- BENSIN, B. M. Possibilities for international cooperation in agroecological investigations. **Int. Rev. Agr. Mo. Bull. Agr. Sci. Pract.**, v. 21, p. 277–284, 1930.
- BERGVELD, P. Development of an ion-sensitive solid-state device for neurophysiological measurements. **IEEE transactions on bio-medical engineering**, v. 17, p. 70–71, 1970.
- BIELAŃSKI, A.; DEREŃ, J.; HABER, J. Electric Conductivity and Catalytic Activity of Semiconducting Oxide Catalysts. **Nature**, v. 179, n. 4561, p. 668–669, 30 mar. 1957.
- BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. A soja no Brasil: história e estatística. **EMBRAPA**, 1987.
- CRAMER, T. et al. Double layer capacitance measured by organic field effect transistor operated in water. **Applied Physics Letters**, v. 100, n. 14, 2012.
- DE OLIVEIRA, L. D. A Geopolítica do Desenvolvimento Sustentável na CNUMAD - 1992 (ECO-92): entre o Global e o Local, a Tensão e a Celebração. **Revista de Geopolítica, Ponta Grossa**, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2011.
- DE PASSOS, P. N. C. A CONFERÊNCIA DE ESTOCOLMO COMO PONTO DE PARTIDA. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**, v. 6, p. 1–25, 2009.
- DEL VALLE, E. M. M. **Cyclodextrins and their uses: A review** *Process Biochemistry*, 2004.
- EMBRAPA. **História da Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/memoria-embrapa/a-embrapa>>. Acesso em: 18 jan. 2019.
- EMBRAPA. **Visão 2030 : o futuro da agricultura brasileira**. 1. ed. Brasília: Agropensa, 2018.
- ESTADO DE SÃO PAULO. Escassez alimentar no Brasil. **Estado de São Paulo**, p. 12, 1968.
- FORTUNATO, E.; BARQUINHA, P.; MARTINS, R. **Oxide semiconductor thin-film transistors: A review of recent advances** *Advanced Materials*, 2012.
- FREITAS, M. C. M. A CULTURA DA SOJA NO BRASIL: O CRESCIMENTO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA E O SURGIMENTO DE UMA NOVA FRONTEIRA AGRÍCOLA. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, 2011.
- GRIGGS, D. et al. Sustainable development goals for people and planet. **Nature**, v. 495, p. 305, 2013.
- GUDIENSEN, M. S. et al. Growth of nanowire superlattice structures for nanoscale photonics and electronics. **Nature**, v. 415, n. 6872, p. 617–20, 7 fev. 2002.
- HEILAND, G. Zum Einfluß von Wasserstoff auf die elektrische Leitfähigkeit an der Oberfläche von Zinkoxydkristallen. **Zeitschrift für Physik**, v. 148, n. 1, p. 15–27, fev. 1957.
- KAMIYA, T.; NOMURA, K.; HOSONO, H. Present status of amorphous In–Ga–Zn–O thin-film transistors. **Science and Technology of Advanced Materials**, v. 11, n. 4, p. 044305, 2010.
- KERGOAT, L. et al. DNA detection with a water-gated organic field-effect transistor. **Organic**

**Electronics**, v. 13, n. 1, p. 1–6, 2012.

KIM, G. H. et al. Inkjet-printed InGaZnO thin film transistor. **Thin Solid Films**, v. 517, n. 14, p. 4007–4010, 2009.

KOLMAKOV, A et al. Detection of CO and O<sub>2</sub> Using Tin Oxide Nanowire Sensors. **Advanced Materials**, v. 15, n. 12, p. 997–1000, 17 jun. 2003.

KOŁODZIEJCZAK-RADZIMSKA, A.; JESIONOWSKI, T. Zinc Oxide—From Synthesis to Application: A Review. **Materials**, v. 7, p. 2833–2881, 2014.

LOETHEN, S.; KIM, J.-M.; THOMPSON, D. H. Biomedical Applications of Cyclodextrin Based Polyrotaxanes. **Polym. Rev.**, v. 47, n. 3, p. 383–418, 2007.

LUONG, J. H. T. et al. Enzyme reactions in the presence of cyclodextrins: biosensors and enzyme assays. **Trends in Biotechnology**, v. 13, n. 11, p. 457–463, 1995.

MCALPINE, M. C. et al. Highly ordered nanowire arrays on plastic substrates for ultrasensitive flexible chemical sensors. **Nature materials**, v. 6, n. 5, p. 379–84, maio 2007.

MINAMI, T. Present status of transparent conducting oxide thin-film development for Indium-Tin-Oxide (ITO) substitutes. **Thin Solid Films**, v. 516, n. 17, p. 5822–5828, jul. 2008.

NGUYEN, P. et al. Direct Integration of Metal Oxide Nanowire in Vertical Field Effect Transistor. **Nano Letters**, v. 4, n. 4, p. 651–657, abr. 2004.

OAKES, J. V; SHEWMAKER, C. K.; STALKER, D. M. Production of cyclodextrins, a novel carbohydrate, in the tubers of transgenic potato plants. **Bio/Technology (Nature Publishing Company)**, v. 9, n. 10, p. 982–986, 1991.

PANESAR, R.; KAUR, S.; PANESAR, P. S. Production of microbial pigments utilizing agro-industrial waste: A review. **Current Opinion in Food Science**, 2015.

PATOLSKY, F.; ZHENG, G.; LIEBER, C. M. Nanowire Based Biosensors. **Analytical Chemistry**, v. 78, n. 13, p. 4260–4269, jul. 2006.

PURDY, W. C. Cyclodextrins and Their Applications in Analytical Chemistry. **Chemical reviews**, v. 92, n. 5, p. 1457–1470, 1992.

SAENGER, W. Cyclodextrin Inclusion Compounds in Research and Industry. **Angewandte Chemie International Edition in English**, v. 19, n. 5, p. 344–362, 1980.

SCHUH, G. E. **O Desenvolvimento da Agricultura no Brasil**. São Paulo: [s.n].

SEIYAMA, T. et al. A New Detector for Gaseous Components Using Semiconductive Thin Films. **Analytical Chemistry**, v. 34, n. 11, p. 1502–1503, out. 1962.

SEQUINEL, M. C. M. Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável - Joanesburgo: entre o sonho e o possível. **ANÁLISE CONJUNTURAL**, v. 24, n. 11–12, p. 12, 2002.

SNO, R. et al. A room temperature nitric oxide sensor actualized from. v. 107, p. 708–715, 2005.

SOMEYA, T. et al. Integration and response of organic electronics with aqueous microfluidics. **Langmuir**, v. 18, n. 13, p. 5299–5302, 2002.

SUH, D. et al. Multiple ZnO Nanowires Field-Effect Transistors. p. 1276–1281, 2008.

SUN, J. et al. Individual SnO<sub>2</sub> nanowire transistors fabricated by the gold microwire mask method. v. 255202, 2009.

TAGUCHI, N. **Gas Detecting Devices** U.S. Patent 3,631,436, 1972.

TERADA, Y. et al. Cyclodextrins are not the major cyclic  $\alpha$ -1,4-glucans produced by the initial action of cyclodextrin glucanotransferase on amylose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 272, n. 25, p. 15729–15733, 1997.

THARSIKA, T. et al. Enhanced Ethanol Gas Sensing Properties of SnO<sub>2</sub>-Core/ZnO-Shell Nanostructures. **Sensors**, v. 14, n. 8, p. 14586–14600, 11 ago. 2014.

TONKOVA, A. Bacterial cyclodextrin glucanotransferase. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 22, n. 8, p. 678–686, 1998.

WAN, Q.; DATTOLI, E. N.; LU, W. Transparent metallic Sb-doped SnO<sub>2</sub> nanowires. **Applied Physics Letters**, v. 90, n. 22, p. 222107, 2007.

WANG, Y.; JIANG, X.; XIA, Y. A Solution-Phase, Precursor Route to Polycrystalline SnO<sub>2</sub> Nanowires That Can Be Used for Gas Sensing under Ambient Conditions. **Journal of the American Chemical Society**, v. 125, n. 52, p. 16176–16177, dez. 2003.

WIND, R. D. et al. Cyclodextrin formation by the thermostable  $\alpha$ -amylase of *Thermoanaerobacterium thermosulfurigenes* EM1 and reclassification of the enzyme as a cyclodextrin glycosyltransferase. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, n. 4, p. 1257–1265, 1995.

WOLFBEIS, O. S. Fiber-optic chemical sensors and biosensors. **Analytical chemistry**, v. 80, n. 12, p. 4269–83, 15 jun. 2008.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**TAYRONNE DE ALMEIDA RODRIGUES:** Filósofo e Pedagogo, especialista em Docência do Ensino Superior e Graduando em Arquitetura e Urbanismo, pela Faculdade de Juazeiro do Norte-FJN, desenvolve pesquisas na área das ciências ambientais, com ênfase na ética e educação ambiental. É defensor do desenvolvimento sustentável, com relevantes conhecimentos no processo de ensino-aprendizagem. Membro efetivo do GRUNEC - Grupo de Valorização Negra do Cariri. E-mail: [tayronnealmeid@gmail.com](mailto:tayronnealmeid@gmail.com) com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9378-1456>

**JOÃO LEANDRO NETO:** Filósofo, especialista em Docência do Ensino Superior e Gestão Escolar, membro efetivo do GRUNEC. Publica trabalhos em eventos científicos com temas relacionados a pesquisa na construção de uma educação valorizada e coletiva. Dedicar-se a pesquisar sobre métodos e comodidades de relação investigativa entre a educação e o processo do aluno investigador na Filosofia, trazendo discussões neste campo. Também é pesquisador da arte italiana, com ligação na Scuola de Lingua e Cultura – Itália. Amante da poesia nordestina com direcionamento as condições históricas do resgate e do fortalecimento da cultura do Cariri. E-mail: [joaoleandro@gmail.com](mailto:joaoleandro@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-1164>

**DENNYURA OLIVEIRA GALVÃO:** Possui graduação em Nutrição pela Universidade Federal da Paraíba, mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e doutorado em Ciências Biológicas (Bioquímica Toxicológica) pela Universidade Federal de Santa Maria (2016). Atualmente é professora titular da Universidade Regional do Cariri. E-mail: [dennyura@bol.com.br](mailto:dennyura@bol.com.br) LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4808691086584861>



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-330-9

